Vom Nebelfleck zum Menschen

von Dr. L. Reinhardt



Das Leben der Erde

Verlag von Ernst Reinhardt in München

Library
of the
University of Wisconsin

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Tafel I.



Waldschnepfe auf dem Nest als Beispiel für eine Schutzfärbung, die von allen auf der Erde brütenden Vögeln erworben wurde. (Nach Meerwarth, Naturstudien.)

Digitized by Google

Vom Nebelfleck zum Menschen

[illegible]

von

Dr. Ludwig Reinhardt

Das Leben der Erde

[illegible]



München 19[illegible]

Ernst Reinhardt, Verlagsbuchhandlung

[illegible]



Digitized by Google

Vom Nebelfleck zum Menschen

Eine gemeinverständliche Entwicklungsgeschichte des Naturganzen nach den neuesten Forschungsergebnissen

von

Dr. Ludwig Reinhardt.

* *

Das Leben der Erde

mit 380 Abbildungen im Text, 21 Vollbildern nebst einem farbigen Titelbild „Nillubüsche und Hängebambusen auf Ceylon“ nach Professor Ernst Häckel.



München 1908.
Ernst Reinhardt, Verlagsbuchhandlung
Jägerstraße 17.

Digitized by Google

Alle Rechte vorbehalten.

Druck von C. Brügel & Sohn, Ansbach.

Digitized by Google

116348
MAR 11 1908

LA
.R.6
2

Vorwort.

Infolge der ungeheuren Fülle des in Berücksichtigung zu ziehenden Materials mußte der ursprünglich geplante zweite Band des Buches „Vom Nebelfleck zum Menschen“ in zwei besondere Hälften geteilt werden, von denen der vorliegende Band das Leben der Erde und der nächstes Jahr erscheinende Schlußband die Geschichte des Lebens der Erde in eingehender, aber dennoch allgemein verständlicher Weise behandelt. Dieser zweite Band des Gesamtwerkes enthält eine allgemeine Biologie, wie sie dem gebildeten, sich für die neuesten Forschungsergebnisse interessierenden Laien noch nicht geboten wurde. Mit Beiseitelassen alles Nebensächlichen wurden die Grundzüge der Lehre vom Leben mit den sie beherrschenden Gesetzen klar zu legen versucht und gezeigt, wie die Pflanzen- und Tierwelt nur zwei nach verschiedenen Richtungen spezialisierte Stämme desselben Baumes sind, die alle Grunderscheinungen des Lebens gemeinsam haben. Und weil sie eben in ihren Funktionen prinzipiell nicht verschieden sind, so weisen beide Entwicklungsrichtungen unzählige Parallelen auf, die bisher in allen diesbezüglichen Werken meist ganz übersehen oder doch viel zu wenig klargelegt und betont wurden.

Möge das Hohelied des Lebens, das durch diese Blätter erklingt, in recht vielen jungen und alten Herzen Gegen- und Anklang finden und zahlreichen nach Erkenntnis über das Woher und Wohin des Lebensstromes Durstigen Aufschluß über den heutigen Stand unseres Wissens darüber geben. Die letzten Lebensrätsel will und kann dieses Buch nicht lösen, aber es möchte das Seine dazu beitragen, daß der unübersehbare Reichtum an Schönem, der über unsere Erde ausgebreitet ist, von möglichst vielen seiner Zeitgenossen begriffen und gewürdigt werde. Das ist der Hauptzweck und der schönste Lohn, der dieser Arbeit erblühen kann.

Herrn Professor Ernst Häckel in Jena danke ich für die Erlaubnis der Reproduktion des Umschlagbildes, das seinen „Wanderbildern“ entnommen ist.

Basel, im Oktober 1907.

Dr. Ludwig Reinhardt.

Digitized by Google

Inhalt.

Digitized by Google

I. Stammbaum der Tierentwicklung.

Digitized by Google

II. Stammbaum der Pflanzenentwicklung

(die Phanerogamen nach den Untersuchungen von Dr Hallier in Hamburg).

Digitized by Google

I.

Das Leben und seine Entstehung.

Wie das Leben selbst, so ist auch seine Entstehung das größte Rätsel, das uns die Welt aufgibt und das von uns Menschen wohl nie gelöst werden wird, so sehr wir auch mit dem Aufgebote allen Scharfsinnes hinter dieses große Geheimnis zu kommen trachten. Was wir stets nur erforschen können, sind die Erscheinungen des Lebens; aber das Wesen des Lebens selbst entzieht sich uns immer wieder, je mehr wir auf seiner Spur zu sein glauben. Ebenso geheimnisvoll und unergründlich für unsern Verstand ist der Beginn des Lebens auf unserm Weltkörper. Seitdem wir wissen, daß unter den heutigen Daseinsbedingungen kein neues, aus den Urstoffen geformtes Leben mehr auf unserem Planeten entsteht, sondern daß alles Lebendige stets nur durch ungeschlechtliche oder geschlechtliche Zeugung aus einem andern Lebendigen hervorgeht, müssen wir die sogenannte Urzeugung in die früheste geologische Vorzeit unseres Planeten verlegen, da dieser als eine einst selbstleuchtende, glühende Kugel sich soweit abgekühlt hatte, daß die Bedingungen zur Entstehung des Lebens auf ihm erfüllt waren.

Die Frage nach der Entstehung des Lebens umfaßt zugleich diejenige nach der Entstehung komplizierter organischer Körper aus einfacheren, unorganischen, in letzter Linie aus den Urstoffen, den Elementen. In der größeren oder geringeren chemischen Affinität oder Verwandtschaft, die die einzelnen Urstoffe oder Elemente zu einander haben, beruhen alle chemischen Vorgänge, die sich wie überall im Weltall, so auch auf unserem Planeten abspielen. Und auch das Leben selbst ist im tiefsten Grunde nur ein solcher chemischer Vorgang, wenn auch der komplizierteste aller, die wir kennen. Er besteht sichtbarlich in einem Verbrennungsvorgange, bei welchem Lebensluft d. h. Sauerstoff verbraucht und in Verbindung mit dem zu Kohlensäure verbrannten

Kohlenstoff wieder ausgeschieden wird. Es kann also das Leben am besten mit einer brennenden Flamme verglichen werden. Wie sich eine solche stets nur an einer andern solchen entzündet, so entzündet sich die Lebensflamme stets nur an einer andern, früher in Brand gesetzten.

Bevor wir es unternehmen, darnach zu forschen, wie wohl die erste Lebensflamme auf unserer Erde aufloderte, wollen wir kurz einige Worte der sogenannten Panspermielehre widmen, welche unter den Naturforschern aufgekommen ist, weil sie in bequemer Weise die Frage nach der Entstehung des Lebens auf unserem Planeten umgeht und das ganze Weltall als mit Lebenskeimen durchsetzt annimmt, die von selbst auf alle ihnen günstige Daseinsbedingungen darbietenden Weltkörper gelangen und auf diesen stets wieder das Leben entfachen. Diese Panspermielehre, die als selbstverständlich voraussetzt, daß alle bewohnbaren Weltkörper eo ipso von Lebewesen zunächst niedriger, später aber auch höherer Art bewohnt sind, wurde zuerst vom hervorragenden englischen Physiker William Thomson (jetzt Lord Kelvin). und bald darnach auch von den deutschen Forschern H. E. Richter und Ferd. Cohn (dem bedeutenden, vor einigen Jahren verstorbenen Botaniker in Breslau) zu Beginn der siebenziger Jahre des vorigen Jahrhunderts begründet und neuerdings durch den Chemiker Prof. Svante Arrhenius in Stockholm weiter aufgebaut. Hiebei wird von letzterem der Strahlungsdruck des Lichtes, von dem im ersten Bande eingehend die Rede war, als das hauptsächlich dabei in Frage kommende Verbreitungsmittel für die ganz winzigen, uns höchstens etwa als Sonnenstäubchen gelegentlich bemerkbar werdenden Lebenskeime angesehen.

In einem Aufsatze der Umschau vom 19. Januar 1907 betitelt: Die neuere Entwicklung der Panspermielehre schreibt er als kurze Zusammenfassung seiner bis dahin nur schwedisch publizierten Schrift über die „Entwicklung der Welten“: „Eine große Schwierigkeit dieser Lehre war es, zu verstehen, wie die lebenden Samen in genügend kurzer Zeit von Planeten zu Planeten oder noch mehr von einem Sonnensystem zum andern sich verschieben könnten, um nicht die Keimfähigkeit zu verlieren. Die meisten Samen können sich nicht länger als ein paar Jahre, relativ wenige, wie die harte Schalen besitzenden Leguminosen oder einige Sporengattungen ꝛc. können sich durch mehrere Jahrzehnte keimfähig erhalten. Ein Körper, der sich mit der Geschwindigkeit eines Eilzuges (60 km pro Stunde) bewegt, braucht 150 Jahre um die Strecke zwischen der Erdbahn und der Marsbahn

Digitized by Google

zu durcheilen und 70 Milliarden Jahre um von unserem Sonnensystem zu dem benachbarten Alpha Centauri zu gelangen. Durch die Einführung des Strahlungsdruckes als Triebkraft kann diese Zeit unter günstigen Umständen, wie ich in meinem zitierten Artikel hervorhob, auf 20 Tage, beziehungsweise 9000 Jahre reduziert werden.

Nun kann diese Zeit schon als bedenklich lang betrachtet werden und man könnte wohl befürchten, daß die Keime auch während dieser Zeit, der absoluten Trockenheit und der großen Kälte, sowie dem heftigen Licht ausgesetzt, kaum das Leben erhalten könnten.

Was die Lichtwirkung anbetrifft, so sind nicht alle Mikroorganismen dagegen empfindlich. Duclaux zeigte, daß Tyrothrix scaber, der in Milch vorkommt, gegen einen Monat in intensivem Sonnenlicht lebend bleiben kann. Weiter zeigte Roux, daß die heftig zerstörende Wirkung des Lichtes auf Milzbrandsporen in der Anwesenheit von Luft bedingt ist, so daß sie vom Licht in einem luftleeren Raume nicht leiden. Es sieht danach aus, als ob das Licht einen sogenannten „photochemischen Oxydationsprozeß" auslöse.

Die große Kälte hat sich für die Samen nicht als schädlich erwiesen. Macfayden zeigte, daß Sporen von Bakterien sechs Monate ohne merkliche Schädigung eine Kälte von etwa — 200° C. aushalten können. Zweifellos ist es umgekehrt, wie man sich gewöhnlich vorstellt: die Kälte übt eine konservierende Wirkung auf die Sporen aus. Das Abnehmen und zuletzt das Erlöschen der Keimfähigkeit beruht sicherlich auf einer chemischen Umsetzung, die sehr langsam vor sich geht. Nun sinkt die Geschwindigkeit chemischer Prozesse recht schnell mit abnehmender Temperatur. Dieses Sinken kann äußerst verschieden sein in verschiedenen Fällen*), für die Lebensprozesse, die bisher untersucht sind, ist die Abnahme etwa im Verhältnis 1:0,4 bei einer Temperaturabnahme von 10° C. Da nun die Temperatur bei der Neptunbahn — 220° C. beträgt, so würde das „Abklingen" des Lebens im Raum zwischen zwei Sonnensystemen mehr als milliardmal langsamer vor sich gehen als bei irdischer Temperatur (10° C.). Die Keimfähigkeit sollte demnach auf dem langen Transport in den interstellaren Räumen während drei Millionen Jahren nicht stärker herabgesetzt werden als in einem Tage bei Frühlingstemperatur (10° C.). Die kurzen Zeiten, welche die wandernden Samen in der Nähe einer Sonne, z. B. zwischen

*) Vergl. meine Zusammenstellung über diesbezügliche Daten in meiner „Immunchemie" S. 64 und 92 (Leipzig, Akadem. Verlagsgesellschaft 1907).

Digitized by Google

der Erde und Mars, zubrächten, könnten sie schon aushalten, da diese Zeiten sich nur durch einige Monate erstrecken würden.

In ganz ähnlicher Weise verhält es sich offenbar mit dem photochemischen Prozeß, welcher durch die Belichtung verursacht wird. Und nicht viel anders steht es mit der Austrocknung. B. Schröder hat erwiesen, daß unter normalen Verhältnissen so stark wasserhaltige Algen wie Pleurococcus vulgaris, die grüne Luftalge, die häufig auf Baumstämmen vorkommt, und sogar die Wasseralge Scenedesmus obtusus 20 beziehungsweise 16 Wochen im Exsikkator über konzentrierter Schwefelsäure aufbewahrt werden können ohne zu sterben. Dies gilt nur für vegetative Teile; wahrscheinlich halten Sporen und Samen Trockenheit viel länger aus. Nun ist natürlich anzunehmen, daß die Austrocknung, d. h. die Verdampfung, proportional der Dampfspannung des Wassers erfolgt. Diese ist wohl nicht bei — 220° C. bestimmt worden, man kann sie aber nach einer Formel von van't Hoff aus der bekannten Verdampfungswärme mit genügender Genauigkeit berechnen. Man findet auf diese Weise Ziffern, die sehr nahe mit denjenigen betreffs der Abnahme der Keimfähigkeit übereinstimmen, so daß die Austrocknung während Millionen von Jahren bei — 220° C. nicht weiter fortschreiten würde als im Laufe eines einzigen Tages bei 10° C.

Man kann demnach wohl sagen, daß zufolge der konservierenden Wirkung der tiefen Temperaturen im Weltraume die Möglichkeit einer Überführung von keimkräftigen Sporen von einem Sonnensystem zu einem andern in hohem Grade verbürgt erscheint.

Welche Kräfte die Sporen durch das Luftmeer der Planeten zu heben vermögen, so daß sie in den fast leeren interstellaren Raum hinauskommen, habe ich schon in meinem Aufsatz vom Jahre 1903 angedeutet." In diesem, betitelt „Die Verbreitung des Lebens im Weltenraum" heißt es: „Lord Kelvin, einer der größten jetztlebenden Physiker, nimmt an, daß Bruchstücke von fremden Weltkörpern gelegentlich zur Erde herunterkamen (in Form von Meteoriten D. V.) und dabei kleine organische Keime mitführten, die sich auf der Erde weiter entwickelten. Und was für die Erde gilt, das gilt auch für die andern Planeten, welche dem Leben zugänglich sind.

Diese Ansicht bietet indessen viele Schwierigkeiten. Wenn ein irdischer Körper sich aus dem Sonnensystem entfernen sollte, müßte er eine Geschwindigkeit von etwa 45 km pro Sekunde besitzen, also etwa 70 mal mehr als unsere schnellsten Geschosse. Wie bekannt

Digitized by Google

werden die Geschosse beim Sausen durch die Luft glühend. Ein Körper, der eine 10 mal so große Geschwindigkeit hätte, müßte noch viel heißer werden. Man kann deshalb kaum annehmen, daß ein irdischer Körper sich aus dem Sonnensystem entfernt, ohne daß alle Keime auf seiner Oberfläche verbrannt würden. Man weiß auch von Meteoriten, die vom Himmel fallen, daß sie eine geschmolzene Kruste besitzen. Um diesen Schwierigkeiten zu entgehen, nimmt Lord Kelvin an, daß die Keime in irgend einer Weise in Spalten dieser durch vulkanische Kräfte ausgeschleuderten Bruchstücke gekommen seien; wie? darüber hat er nichts Näheres angegeben. Es ist auch nicht recht zu verstehen. Übrigens wären die ungeheuren Geschwindigkeiten auch unverständlich.

Es ist deshalb eine wahre Erleichterung, daß man die Kelvin'sche Idee mit Hilfe des Strahlungsdruckes so umändern kann, daß diese Schwierigkeiten vermieden werden. Wir wissen, daß es Lebewesen von so winzigen Dimensionen gibt, daß der Strahlungsdruck von der Sonne ihre Schwere überwiegt. Dies ist der Fall sobald ihr Durchmesser weniger als 1,5 μ (1 μ = 0,001 mm) angenommen wird und ihr spezifisches Gewicht = 1 oder weniger ist, — wahrscheinlich spielen in der Nähe der Sonne Kohlenwasserstoffe vom spez. Gewicht von etwa 0,9 eine große Rolle. Alle Körper von geringerem Durchmesser als 1,5 μ entfernen sich von der Sonne und werden in den leeren Raum hinaus getrieben. Dieselben erhalten dabei eine ganz enorme Geschwindigkeit. Z. B. wenn der Durchmesser halb so groß ist, wie die kritische Größe, erhalten die Körper sehr bald eine Geschwindigkeit von etwa 500 km in der Sekunde. Je kleiner die Körper sind, um so größer wird ihre Geschwindigkeit; aber schließlich kommt eine Größe, bei der die Geschwindigkeit ein Maximum erreicht, wie Schwarzschild gezeigt hat, und das tritt ein bei einer etwa 18 mal so großen Geschwindigkeit wie die hier angegebene. Nehmen wir ein Partikelchen von etwa der Hälfte dieser Maximalgeschwindigkeit, also etwa 4000 km pro Sekunde an, so braucht ein solches nur etwa 12 Stunden, um von der Sonne bis zur Erde zu gelangen; in 15 Tagen kann es sich aus dem Sonnensystem weiter als die Neptunbahn entfernen. Und da die nächsten Sterne in 40 Billionen km Entfernung liegen, so braucht es 120000 Tage, also 300 Jahre, um bis zu ihnen zu gelangen.

Gerade an der Grenze der Vergrößerungskraft unserer Mikroskope kommen eine Menge kleiner Bakterien vom Durchmesser 0,2 bis 0,3 μ vor und es ist kaum zu bezweifeln, daß unter dieser Grenze auch

Digitized by Google

Lebewesen existieren, die mit dem Mikroskop nicht zu entdecken sind. Man weiß auch, daß es Ansteckungserscheinungen gibt, die zweifellos von Organismen herrühren, trotzdem diese nicht mit dem Mikroskop zu entdecken sind. Z. B. sind die Erreger der Hundswut, der Klauenseuche (und verschiedener anderer Infektionskrankheiten D. V.), sowie einer Krankheit der Tabakpflanze auf Sumatra auf so kleine Lebewesen zurückzuführen.

Noch kleiner müssen deren Sporen sein, das sind diejenigen Dauerformen der niederen pflanzlichen Lebewesen, welche eine längere Zeit aushalten können, ohne abzusterben. Diese Sporen sind außerordentlich widerstandsfähig gegen äußere Einflüsse und es ist besonders interessant zu wissen, daß man sie den allertiefsten bisher erreichten Kältegraden aussetzen kann, ohne daß sie Schaden nehmen. Sie sind in flüssigem Wasserstoff, also bei — 252°, etwa eine Woche aufbewahrt worden, ohne daß die Keimfähigkeit dadurch verloren ging.

Wir wissen von kleinen Körpern, daß sie mit einer sehr geringen Geschwindigkeit in der Luft heruntersinken. Bei Wassertröpfchen hat man diese Geschwindigkeit gemessen. Bei gewöhnlichen kleinen Regentropfen von 0,02 mm Durchmesser beträgt die Fallgeschwindigkeit 4 cm bei 760 mm Luftdruck. Ein Körper von 0,00015 mm Durchmesser würde nicht schneller fallen als mit einer Geschwindigkeit von $^2/_{1000}$ mm pro Sekunde, d. h. 63 m pro Jahr. Ein solcher Körper würde, auch wenn er durch sehr intensive Kräfte getrieben wäre, nicht in meßbarer Zeit zur Grenze der Atmosphäre gelangen, also nicht aus dem Bereich der Erde herauskommen. Dagegen gibt es ein ganz einfaches Hilfsmittel. Es gibt Luftströmungen, welche diese sehr kleinen Körper mitnehmen. Dieselben können mitgeschleppt werden bis zu einem Druck von $^1/_{1000}$ mm, welcher in einer Höhe von etwa 100 km über der Meeresfläche besteht, bei einer vertikalen Geschwindigkeit des Luftstroms von 1,5 m pro Sekunde. Bis zu äußerst großen Höhen können aber diese Körper wegen der stark zunehmenden Verdünnung der Luft nicht von den Winden mitgeführt werden; jedenfalls können sie durch Luftströmungen nie aus der Erdatmosphäre entfernt werden. Die Erde ist nämlich elektrisch geladen, und zwar kann sie ganz bedeutende Ladungen besitzen. Das Potentialgefälle erreicht bisweilen an einem klaren Wintermorgen fast 3 Volt oder 3.10^8 absolute (CGS) Einheiten pro Centimeter. Wir können nun berechnen, wie kräftig ein Körper von einer bestimmten Ladung durch das elektrische Feld hinaufgetrieben würde. Es müßte ein negativ elektrischer Körper sein. Die kleinsten Körper, die man

Digitized by Google

kennt oder annimmt, sind die Atome, und man nimmt ferner an, daß die Atome bestimmte elektrische Ladungen besitzen. Die Ladung eines einwertigen Atoms ist 8.10^{-21} CGS. Eine kleinere Ladung kann keinem Körper zukommen. Ein Körper, der eine Atomladung besitzt, wird hinaufgetrieben durch eine Kraft gleich dem Produkt des Kraftfeldes mal der Ladung. Die Kraft, mit der eine solche Atomladung vom Erdfeld hinaufgetrieben wird, ist folglich 24×10^{-13} dyn (1 dyn ist ungefähr ebensoviel wie 1 mg Gewicht). Ein Tropfen vom Durchmesser 0,15 μ hat die Masse 17.6510^{-16} g. Seine Beschleunigung infolge der Atomladung im elektrischen Felde der Erde ist also $11350 \frac{cm}{sec\ 2}$. Die Beschleunigung durch die Gravitation der Erde ist 980 cm. Die erstgenannte Beschleunigung ist also etwa 1,4 mal so groß wie die gewöhnliche Beschleunigung.

Aus einer näheren Analyse des Strahlungsdruckes folgt, daß die Partikelchen, welche sich von der Sonne entfernen, negativ geladen sind. Auf diese Weise ist es gelungen, die Natur des Polarlichtes mit großer Genauigkeit aufzuklären. Diese äußerst kleinen Körper kommen mit negativen Ladungen in unsere Atmosphäre hinein. Sie können sich mit einer kleinen Spore vereinigen. Das Gewicht nimmt dadurch etwas zu, das ändert aber nichts an der Sache. Man kann sich demnach sehr wohl vorstellen, daß Sporen sich mit elektrischen Partikelchen vereinigen und dadurch eine Abstoßung von der Erde erfahren, die die Schwerkraft überwiegt.

Ich muß noch hinzufügen, daß — wie neuere Untersuchungen gezeigt haben — die Vorstellung von einem solchen großen elektrischen Kraftfeld in der Nähe der Erde nicht stichhaltig ist. Es kommen außerhalb der Erde positive Ladungen vor, welche die negative Ladung der Erde kompensieren, so daß die elektrische Kraft in einer Höhe von etwa 10 km des Erdfeldes Null ist. Dagegen zeigen die neuesten Untersuchungen über das Polarlicht, daß ohne Zweifel in den höchsten Schichten starke negative Ladungen vorkommen, die viel größer sind als diejenigen, welche man auf der Erdoberfläche gefunden hat. Das Kraftfeld ist deshalb in den höchsten Schichten viel bedeutender als das oben angenommene, und es ist gestattet anzunehmen, daß Sporen durch elektrische Einflüsse sich aus der Atmosphäre entfernen können. Sind sie aus der Atmosphäre hinausgekommen, so werden sie von dem Strahlendruck des Sonnenlichtes ergriffen, der nach Maxwell's Berechnung an der Sonnenoberfläche 2,75 mg auf den qcm, also nicht

Digitized by Google

mehr als $^1/_{400000}$ des Luftdrucks an der Erdoberfläche, in der Nähe der Erde aber 46000 mal weniger, also nur $^1/_{184000000}$ Atmosphäre beträgt, und brauchen bei einem Durchmesser von 0,15 μ bloß 3000 Jahre bis sie zum nächsten Stern hinkommen und etwa $^1/_2$ Jahr, um zu den äußersten Planeten in unserem Sonnensystem zu gelangen. Eine solche Zeit hindurch können sie sehr wohl am Leben bleiben.

So dürfen wir annehmen, daß im interstellaren Raum lebendige Sporen mit enormen Geschwindigkeiten herumstreichen, welche das Leben auf den Planeten erwecken, sobald diese Himmelskörper eine feste Kruste angelegt haben, die zur Beherbergung von organischem Leben die nötigen Bedingungen bietet.

Es scheint demnach ebenso unnötig, die Ansicht über das gelegentliche Vorkommen von Selbstzeugung aufrecht zu erhalten, wie anzunehmen, daß die Materie durch einen Schöpfungsakt entstanden ist. Und wenn man auch aus alter Gewohnheit geneigt ist, die Hypothese von der Selbsterzeugung zu behalten, so kann man doch sich wohl vorstellen, daß das Leben durch kleine Sporen von einem Himmelskörper zum andern mit Hilfe des Strahlungsdruckes hinübergeführt wird. Diese Vorstellung führt eine andere mit sich, die mir außerordentlich anmutend erscheint, nämlich die, daß *alle Lebewesen im Universum mit einander verwandt* sind, so daß derselbe Entwicklungsgang des organischen Lebens überall sich abspielt."

Ohne die Möglichkeit einer Keimübertragung von einem Weltkörper zum andern prinzipiell zu bestreiten, ist doch dieser von *Svante Arrhenius* vorgetragenen Panspermielehre vorzuwerfen, daß sie die Antwort nach der Frage der Entstehung des Lebens nur hinausschiebt und uns keine Erklärung dafür gibt. Statt nun anzunehmen, daß das Leben irgendwo im Weltall vor unendlich langer Zeit unter uns nicht bekannten Bedingungen entstand, begnügt sich der Stockholmer Gelehrte dem entgegenzuhalten, daß wie die Materie und die Energie unzerstörbar sind, auch das Leben als seit Ewigkeit bestehend angenommen werden muß. „Die Frage nach der Entstehung der ersten Lebewesen," sagt er in jenem bereits erwähnten Aufsatze über die Verbreitung des Lebens im Weltraum, „steht meines Erachtens auf der gleichen Stufe wie die nach der Entstehung der Materie. Man muß sich allmählich daran gewöhnen zu denken, daß Lebewesen die Ewigkeit überstanden haben, also keinen Ursprung in der Zeit besitzen, daß sie durch Keime erstehen, die von anderen Himmelskörpern kommen, daß sie aussterben, wenn die Verhältnisse ungünstig geworden sind, aber dann an andern

Digitized by Google

Stellen im Weltenraum, wo ein organisches Leben möglich ist, weiterleben. Solche für Lebewesen zugängliche Himmelskörper hat es ohne Zweifel immer gegeben. Im Sonnensystem sind die äußeren Planeten jedenfalls gasförmig und können keine organischen Lebewesen von derselben Natur wie auf der Erde beherbergen. Einstmals aber werden sie soweit kommen, daß sie erkalten, und dann können sie Lebewesen eventuell von unserer Erde bekommen und deren Leben weiter entwickeln, wenn sie auf der Erde ausgestorben sind."

So interessant die Ausführungen von Prof. Arrhenius über die Panspermielehre sind, scheint es uns doch viel richtiger anzunehmen, daß wie auf allen den zahllosen Planeten, die wir im Weltraum um die Millionen von Sonnen kreisend anzunehmen haben, so auch auf unserer Erde einstmals Leben von selbst entstand unter Bedingungen, die heute nicht mehr existieren. Diese Urzeugung geschah zweifellos an der Grenze von Glut und Kühle auf der noch von zischenden Dämpfen durchtosten Erde in den heißen, durch Kondensation niedergeschlagenen Meeren jener mehr als tausend Millionen Jahre von der Gegenwart zurückliegenden Urzeit.

Die Vorbedingung für die Entstehung des Lebens war eine Abkühlung der Oberfläche der Erdrinde unter den Siedepunkt des Wassers. In den damals dampfenden heißen Meeren müssen gewisse anorganische Verbindungen, die, im Wasser gelöst, vermöge ihrer besonderen chemischen Affinität oder Verwandtschaft aufeinander einwirkten zur Bildung jener verwickelten, kompliziert aufgebauten eiweißartigen organischen Verbindungen geführt haben, die wir als die Träger des Lebens, die „lebendige Substanz" kennen. Diesen lebendigen Urstoff, der die materielle Basis aller Lebenstätigkeit bildet, bezeichnet die Wissenschaft nach dem Vorgange des Botanikers Hugo v. Mohl in Tübingen mit dem Worte Protoplasma, d. h. das zuerst Gebildete oder Geschaffene. Dieses lebendige Eiweiß, vielfach abgekürzt Plasma genannt, zersetzte sich dauernd in geringerem Maße von selbst, in größerem Umfange dagegen infolge äußerer Einwirkungen. Und in diesem beständigen Stoffwechsel bewies sich eben und beweist sich heute noch das Leben.

Alle lebendige Substanz ist kohlenstoff- und stickstoffhaltig, und zwar sieht der ausgezeichnete Physiologe Prof. Eduard Pflüger in Bonn einfach die Verbindung des Elementes Stickstoff mit dem in allen organischen Körpern vorhandenen Elemente Kohlenstoff als den von Anbeginn wichtigsten und geradezu ent-

Digitized by Google

scheidenden Stoff in der Lebenssubstanz an. Diese Verbindung CN bezeichnet die Wissenschaft der Chemie als Cyan. Letzteres Wort stammt vom griechischen kyanos = dunkelblau, weil das Berlinerblau, eine der ersten Cyan-Verbindungen war, die man kennen lernte. Dieses Cyan ist ein sogenanntes einwertiges Radikal, d. h. eine Verbindung zweier Elemente mit einer freien Verwandtschaftseinheit. Diese hypothetische Grundsubstanz des Lebens entsteht nun, wie auch seine Verbindungen nur in der Glühhitze. Deshalb darf es als höchst wahrscheinlich gelten, daß das erste Leben geradezu ein Produkt des Feuers selbst war und sich die Grundelemente zu seiner Bildung schon zusammenfanden als die Erdoberfläche noch glühte.

Die Annahme, daß gerade das Cyan dem Plasma seine charakteristischen Lebenseigenschaften verlieh, wird auch weiterhin durch viele Ähnlichkeiten gestützt, die zwischen den Cyanverbindungen, besonders der Cyansäure (CN-O-H), und dem lebendigen Eiweiß bestehen. Beide Körper sind bei niederer Temperatur flüssig und durchsichtig, während sie bei höherer gerinnen. Beide zersetzen sich bei Anwesenheit von Wasser von selbst in Kohlensäure und Ammoniak, den Endprodukten des Stoffwechsels aller Lebewesen überhaupt, und beide liefern durch intramolekulare Umlagerung der Atome den Harnstoff, diejenige Cyanverbindung, die man für ein Produkt des Lebensprozesses ansah, bis sie der große Chemiker Friedrich Wöhler in Göttingen im Jahre 1828 künstlich aufbaute, also den Lebensprozeß gleichsam nachahmte. „Die Ähnlichkeit beider Substanzen," nämlich der Cyansäure und des lebendigen Eiweißes, sagt Pflüger, „ist so groß, daß ich die Cyansäure als ein halblebendiges Molekel bezeichnen möchte."

Beide Substanzen wachsen auch in gleicher Weise durch sogenannte Atomverkettung, indem sich gleichartige Atomgruppen zu großen Massen kettenartig verbinden. „Demnach würde ich sagen," fügt Pflüger bei, „daß das erste Eiweiß, welches entstand, sogleich lebendige Materie war, begabt mit der Eigenschaft, in allen seinen Radikalen mit großer Kraft und Vorliebe besonders gleichartige Bestandteile anzuziehen, um sie dem Molekel chemisch einzufügen und ins Unbegrenzte zu wachsen. Nach dieser Vorstellung braucht also das lebendige Eiweiß gar kein konstantes Molekulargewicht zu haben, weil es eben ein in fortwährender, nie endender Bildung begriffenes und sich wieder zersetzendes ungeheures Molekel ist, das sich wahrscheinlich zu den gewöhnlichen chemischen Molekeln wie die Sonne gegen ein kleines Meteor verhält."

Digitized by Google

Im Bereich der Küstenzone der heißen Meere der Urzeit, da, wo eine beständige Wechselwirkung des zahlreiche gelöste Salze enthaltenden Meerwassers gegen das daraus emporragende Land stattfand, ging jedenfalls das organische Leben hervor, und zwar haben wir mit größter Wahrscheinlichkeit als älteste und einfachste Organismen ganz winzige Plasmakügelchen ohne sichtbare Struktur anzunehmen. Mit dem hervorragenden verstorbenen Münchener Botaniker Karl Wilhelm Nägeli — einem von Kilchberg bei Zürich gebürtigen Schweizer — müssen wir annehmen, daß diese Probionten oder Vorlebewesen, wie sie der Jenaer Prof. Ernst Häckel bezeichnet hat, trotz der verhältnismäßig kolossalen Größe der sie zusammensetzenden Molekeln eine sehr unbedeutende und viel zu geringe Größe besaßen, um auch mit Hilfe der besten uns heute zur Verfügung stehenden Mikroskope wahrgenommen zu werden. Aus dem gleichen Grunde würde sich, wenn wir auch ihrem Werden in der Urzeit der Erde beigewohnt hätten, ihr höchst primitiver Stoffwechsel, ihr überaus einfaches Wachstum und ihr Zerfall unserer direkten Beobachtung vollkommen entzogen haben.

Durch allmähliche Weiterentwicklung im Laufe von Millionen von Jahren entstanden daraus nach und nach größere, komplexere Gebilde, die wir zuletzt mit Hilfe unserer Mikroskope als solche erkannt hätten. Es waren dies winzige Tröpfchen von lebendigem Urschleim, welche alle die uns bekannten Erscheinungen des Plasmas darboten, Urzellen, aber noch nicht so weitgehend wie die heute existierenden Zellen differenziert, mit Scheidung in einzelne Teile, primitive Organe, vor allem noch ohne Ausbildung eines Kernes im Plasma. Durch die hunderte von Jahrmillionen, während welcher die Entwicklung des organischen Lebens sich auf unserem Planeten abspielt, haben sich einige wenige solcher höchst einfach gebauter Lebewesen bis auf den heutigen Tag erhalten, die uns den Bau jener sehr viel älteren Organismen einigermaßen erkennen lassen. Es sind dies mikroskopisch kleine einzellige Algen, die noch nicht zur Bildung eines Kernes fortgeschritten sind, sondern nur aus einem winzigen Tröpfchen lebendigen Schleimes bestehen, das zum Schutze gegen allfällige Schädigungen der Außenwelt eine zarte, aus einer gallertigen Masse bestehende Hülle abscheidet. Man bezeichnet diese allerprimitivsten Urpflänzchen als Chroococcusalgen. Das Plasma ihrer Zellen ist bereits durch den Gehalt von Chlorophyll oder Blattgrün ausgezeichnet, wie solches in allen selbständig lebenden und im Sonnenlichte assimilierenden Pflanzen vorkommt. Dieses ist in Form von winzig kleinen Körn-

Digitized by Google

chen im sonst scheinbar amorphen Leibe von lebendigem Plasma enthalten. Die ihnen dadurch erteilte grüne Farbe ist aber bei ihnen stets durch andere, im Zellsafte gelöste Farbstoffe verdeckt, besonders häufig durch einen blauen Farbstoff, das Phycocyan oder Algenblau, und einen gelben, das Phycoxanthin oder Algengelb, durch deren Mischung häufig eine eigentümliche blaugrüne Farbe entsteht, welche man früher als Phycochrom oder Algenfarbstoff bezeichnete, wonach diese Algen als Phycochromaceen zusammengefaßt wurden. Die Zellindividuen derselben leben entweder einzeln, oder sie sind durch eine zusammengeflossene Gallertausscheidung zu flächenartig sich ausbreitenden Kolonien vereinigt, die als feine blaugrüne Überzüge mit Vorliebe auf feuchter Erde und besonders im stehenden Wasser da gedeihen, wo organische Massen faulen. Bei diesen altertümlichsten aller Pflänzchen fehlt auch jede Spur einer geschlechtlichen Fortpflanzung. Sie sind typische Spaltalgen, die sich stets nur durch Zweiteilung der ausgewachsenen Zellen teilen.

Von solchen amorphen Tröpfchen lebendigen Eiweißes, wie sie heute noch diese überaus einfach organisierten Chroococcusalgen darstellen, ging die Entwicklung alles Lebendigen auf Erden aus. Die ältesten Bewohner der Küsten der Urmeere, die sich einst auf unserem Planeten bemerkbar machten, waren solche grünliche Überzüge von zu ihrem Schutze in eine gallertige Schleimhülle eingebetteten Spaltalgen ohne Kern. Die Bildung eines Kernes im Plasma war der nächste Fortschritt, den die Entwicklung der Lebewesen im Laufe der Erdentwicklung vollzog. Sie erst ermöglichte weit vollkommenere Leistungen, indem der Kern gleichsam zum Leiter und Regierer des Zellleibes gemacht wurde, in der Weise, daß in der Folge alle höheren Zellen ohne Kern nicht mehr bestehen konnten und bei seiner Beraubung oder Zerstörung unfehlbar in kürzester Zeit zu Grunde gehen mußten.

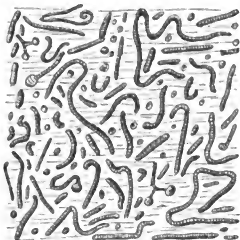
Gerade das Vorhandensein eines Kernes und dessen hohe Bedeutung für das Leben und Gedeihen aller Zellen, die sich über die höchst altertümliche Stufe der kernlosen Chroococcusalgen erhoben, weist von vorneherein auf die vollkommene Ergebnislosigkeit, die alle Versuche haben müssen, künstliche Zellen zu schaffen. Unter den heutigen Daseinsbedingungen kann unmöglich irgendwelche lebendige Zelle oder auch nur der erste Anlauf dazu in Form von organisierter Eiweißsubstanz aus anorganischem Materiale erzeugt werden. Wie alles Lebendige überhaupt, gehen auch alle Zellen auf unserem Planeten stets aus bereits vorhandenen Zellen

Digitized by Google

hervor, wie der große Anatom Rudolf Virchow in Berlin es zuerst aussprach: omnis cellula e cellula.

Alle Versuche, selbst der fähigsten Experimentatoren, lebendes Eiweiß neu zu schaffen, sind bisher mißglückt und werden in alle Zukunft mißglücken. Allerdings ist es in den letzten Jahren der Forschung mehrfach gelungen, scheinbar lebendige Körper zu erzeugen; aber das sind keine wirklich lebenden Wesen, sondern sogenannte flüssige Kristalle, die unter bestimmten äußeren Einflüssen beständig ihre Gestalt verändern und so ein Lebendigsein vortäuschen. Nur grobe Selbsttäuschung konnte darin vorübergehend eine Vorstufe des Lebens erblicken wollen.

Es ist zwar nicht zu leugnen, daß solche flüssige Kristalle mancherlei Analogien mit den niedrigsten Lebewesen zeigen. Durch die Forschungen von Prof. O. Lehmann in Karlsruhe und einiger anderer Gelehrter kennen wir heute bereits über 50 verschiedene Stoffe, die in Gestalt von solch beweglichen flüssigen Kristallen auftreten können. Der erste solche Stoff, an welchem Lehmann im Jahre 1876 diese Fähigkeit entdeckte, war die bis über 146° C. beständige Modifikation des Jodsilbers, die sich unter dem Mikroskope als ein Aggregat oder Haufwerk fließender Kristalle erwies. In der Folge fanden sich immer mehr solcher Körper, worunter auch das ölsaure Ammonium, ein Bestandteil der gewöhnlichen Schmierseife, der flüssige Kristalle in Form von Tropfen bildet, die in ihren Bewegungen täuschend gewissen Infusorien oder Aufgußtierchen ähneln. Wie diese scheinen sie sich durch Aufnahme neuen Stoffes zu ernähren und zu wachsen und sich durch darauffolgende Teilung wie Spaltalgen zu vermehren, indem sie gleichsam Tochterzellen abschnüren.



Leben vortäuschende fließende Kristalle unter dem Mikroskope bei starker Vergrößerung betrachtet. (Nach O. Lehmann.)

Einen noch merkwürdigeren Stoff hat Lehmann in den Kristallen des Parazoxyzimtsäureäthylesters gefunden, die sich bei einer gewissen Temperatur im fließenden Zustande befinden und unter dem Mikroskope den Anschein eines überaus regen Lebens darbieten. Es bilden sich aus beweglichen Tropfen bakterienartige Stäbchen, die wie ein-

Digitized by Google

zellige Diatomeen oder Kieselalgen langsam vorwärts und rückwärts kriechen, indem sie manchmal Hindernissen zu begegnen scheinen. Diese Stäbchen führen teilweise drehende Bewegungen um die eigene Achse aus, besonders intensiv dann, wenn sie, was häufig vorkommt, plötzlich zu langen Schlangen auswachsen, die sich mit großer Energie wurmartig hin- und herkrümmen und sich von der Stelle bewegen. Das Wachstum dieser Schlangen gleicht vollkommen demjenigen von Lebewesen, sie erfolgt anscheinend durch Intussusception d. h. Aufnahme neuer Teilchen von Innen heraus. Plötzlich ziehen sie sich zu einem Ringe zusammen, der bei der gegenseitigen Berührung der Enden zu einer Kugel zusammengezogen wird. In andern Fällen entstehen dagegen aus zusammenstoßenden Stäbchen Zwillings- und Drillingsgebilde. Diese Bewegungen der fließenden Kristalle beruhen jedenfalls auf physikalischen Veränderungen, vielleicht infolge von unmeßbar geringen Temperaturschwankungen.

Ebenso unecht wie ihr Leben ist dasjenige der „künstlichen Zellen", die man unter der Einwirkung von Radium auf vollkommen steriler Gelatine sich bilden sah. Streute man nämlich Spuren eines Radiumpräparates auf die Oberfläche solchermaßen zubereiteter Gelatine, wie sie für die üblichen Bakterienkulturen verwendet wird, so zeigte sich zunächst eine geringe Verflüssigung der Gelatine und dann ein zwei Tage lang fortschreitendes Wachstum eines Gebildes, das dem bloßen Auge völlig den Eindruck gewöhnlichen Pilzmycels, d. h. eines Pilzgeflechtes machte. Unter dem Mikroskope lösten sich diese Fäden in Reihen kleiner Einzelzellen auf, die in der Mehrzahl sogar eine Art Kern erkennen ließen.

Dieses Rätsel, das das Radium der Wissenschaft scheinbar aufgab, ist durch neuere Untersuchungen von Prof. Rudge in Cambridge gelöst worden, der als wahre Ursache dieser „künstlichen Zellbildung" schwefelsaure und schwefligsaure Verbindungen erkannte, die stets in der mit schwefliger Säure gebleichten Gelatine enthalten sind. Diese bilden mit den Salzen des Bariums, Calciums und Strontiums, welche stets in den Radiumpräparaten stecken, unlösliche und daher ausfallende Salze, deren einzelne Partikelchen die scheinbaren Kerne der künstlichen „Zellen", d. h. der die Salzteilchen umgebenden kleinen Vakuolen in der Gelatine vortäuschen.

Der Beweis für die Richtigkeit der Ansicht Rudges läßt sich experimentell leicht erbringen. Befreit man nämlich Gelatine sorgfältig von Schwefelsäure oder schwefliger Säure, so treten die „Wachs-

Digitized by Google

tumserscheinungen“ selbst bei lange dauernder Einwirkung der Radiumpräparate nicht ein, wohl aber sofort nach Zugabe minimaler Spuren von schwefelsauren Salzen, wovon schon gewöhnliches Wasser genügend enthält. Mit diesem Reagens ist es nach Prof. Vageler möglich, auch in Gummi und ähnlichen gelatinösen Stoffen die beschriebenen Erscheinungen, die natürlich mit Zellen nichts als höchstens die grobe Form gemeinsam haben, hervorzurufen.

Im Gegensatz zu diesen künstlichen Gebilden, die durch chemisch-physikalische Einwirkungen von außen Leben vortäuschen, ohne solches wirklich zu besitzen, die sich von äußeren Ursachen getrieben bewegen, aber nicht wie die lebenden Körper die Fähigkeit der Bewegung von innen heraus besitzen, stehen die lebendigen Organismen, deren Leib aus dem Protoplasma aufgebaut ist. Und zwar sind die unsern unbewaffneten Augen sichtbaren Organismen, seien es Pflanzen oder Tiere, nicht aus einer ungegliederten Protoplasmamasse aufgebaut, sondern ihre Körper bestehen aus einer Vielheit von winzigsten Einheiten, von denen jede bis zu einem gewissen Grade selbständig ist, wenn sie sich auch in vollkommen durchgeführter Arbeitsteilung der zentralen Leitung durchaus unterordnen. Diese Einheiten nennen wir Zellen, eine Bezeichnung die auf den regelmäßig kammerigen Bau der Bienenwaben zurückzuführen ist. Wie diese aus zahlreichen leeren oder mit Honig gefüllten Zellen zusammengesetzt sind, erschienen den ältesten Beobachtern, welche nach der Erfindung des Mikroskops in Holland im letzten Drittel des 17. Jahrhunderts dünne Schnitte durch Pflanzenteile untersuchten, diese von wabenartigem Bau mit teils leeren, teils mit einer zähschleimigen Masse erfüllten Kammern. Weniger paßt dieser Name auf die Beschaffenheit tierischer Gewebe, oder gar auf jene zahlreichen Einzeller, die jeder Wassertropfen dem staunenden Auge unter dem Mikroskope enthüllt.

Gerade diese Einzeller, deren bis dahin völlig verborgenes Leben mit dem Gebrauche jenes wunderbaren Instrumentes klar zu Tage trat, erfüllte die wissensdurstigen Männer, denen sie zuerst vor die Augen und dadurch zum Bewußtsein kamen, mit geheimem Grauen. Sie glaubten geradezu spukhaften Sinnestäuschungen ausgesetzt zu sein. Ja, der biedere Holländer Jan Swammerdam, ein in Amsterdam lebender Privatgelehrter (1637—1680), war über die wunderbaren Erscheinungen, die er als gereifter Mann, nachdem er in den Besitz von vergrößernden Glaslinsen gekommen war, allenthalben in der Natur sah, halb verrückt geworden, verbrannte schließlich seine Aufzeichnungen und meinte,

Digitized by Google

es sei ein Frevel, die Dinge, welche nach der Absicht des Schöpfers dem menschlichen Auge verborgen bleiben sollten, zu entschleiern und so zu profanieren. Auch die Beobachtungen, welche sein in Delft lebender Landsmann Antony van Leeuwenhoek (1632–1723) mit aus seinen Glasfäden an der Glasbläserlampe erzeugten Vergrößerungsgläsern gewonnen hatte, hielt man längere Zeit nur für optische Täuschungen. Erst als der Engländer R. Hooke die Existenz der von Leeuwenhoek in Aufgüssen von Pfeffer gesehenen winzigen Lebewesen bestätigte und in einer Versammlung der Königlichen Gesellschaft in London unter seinem Mikroskope zeigte, wichen die letzten Zweifel über das Vorhandensein jener ungeahnten, in ihrer großen Mannigfaltigkeit zunächst geradezu die Sinne verwirrenden Geschöpfe. Es wurde damals sogar ein besonderes Protokoll aufgenommen, welches alle jene Mitglieder der gelehrten Gesellschaft, die sich von der Richtigkeit der Beobachtung durch den Augenschein überzeugt hatten, unterzeichneten, was wohl beweist, wie sehr man von der Bedeutung dieser überraschenden Entdeckung erfüllt war.

Und heute noch, da wir mit den Wundern des Mikrokosmos, die uns das Mikroskop enthüllte, einigermaßen vertraut sind, ist es ein überaus merkwürdiger Anblick, jene winzigsten Lebewesen, denen der Wassertropfen eine Welt bedeutet, in der sie Raum genug haben, um sich nach Belieben zu tummeln, in ihren Lebensäußerungen zu beobachten. So winzig klein sie auch sein mögen, so zeigen sie uns doch schon mit größter Deutlichkeit alle jene Erscheinungen, die wir an den lebenden Körpern der unendlich viel größeren Tiere und Pflanzen beobachten. Betrachten wir einmal ein solches mikroskopisch kleines Lebewesen, um an ihm die Äußerungen des Lebens auf seiner niedrigsten Stufe zu studieren!

Bringen wir etwas feuchten Schlamm oder schmutziges Wasser unter das stark vergrößernde Glas, so tritt uns eine ungeahnte Fülle von Lebewesen entgegen, die alle für unseren Zweck dienlich sind. Greifen wir unter ihnen einen der einfachst gebauten Einzeller, eine Amöbe, heraus. Diesen aus dem Griechischen stammenden Namen hat sie von ihrem langsamen Dahinkriechen auf der Unterlage erhalten, wobei sie beständig ihre Gestalt verändert. Deshalb nennt man das Tier mit einer deutschen Bezeichnung treffend Wechseltierchen. Betrachten wir es näher, so bemerken wir, daß es aus einem winzigen Klümpchen lebendigen Schleimes, eben dem Protoplasma, besteht. Dieses Klümpchen erscheint nicht durchweg homogen, gleichartig, sondern

Digitized by Google

ist leicht gekörnt und enthält an einer Stelle ein etwas dichteres Gebilde, den Zellkern, von dessen Bedeutung für alle höher organisierten Zellen der heutigen Lebewelt bald eingehender die Rede sein wird.

Beobachten wir das Tröpfchen eine Zeitlang, so sehen wir bald, daß es lebt; denn es schiebt sich aus eigenem Willen in einer bestimmten Richtung, nicht nur bergab, sondern auch bergauf dahin. Es bewegt sich aus einer in ihm wohnenden inneren Ursache auf der Unterlage fort. Stößt es dabei auf einen Widerstand, so empfindet es denselben sofort und zieht die vorgestreckte Partie zurück. Es ist also reizbar. Aber nicht auf alle solche Reize antwortet es gleich. Während es einem ihm im Wege stehenden Steinchen sorgfältig ausweicht, ist dies bei einer kleinen ihm in die Quere kommenden lebenden Alge nicht der Fall. Es merkt sofort, daß dies kein lebloser, sondern ein belebter Gegenstand ist. Es weicht ihm nicht nur nicht aus, sondern es fließt rasch darauf hin und nimmt es in seinen Körper auf; denn die Alge bietet ihm eine willkommene Nahrung, die es sich zu Nutzen macht. Und bald ist sie in seinem Innern völlig verdaut und bis auf unbedeutende Reste assimiliert, d. h. die Amöbe hat sie in Körpersubstanz umgewandelt,

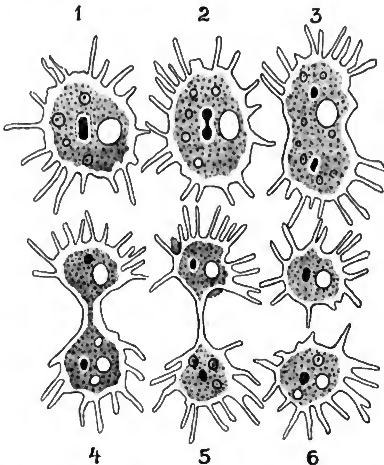


Fig. 2. Amöbe mit von ihr ausgesandten Scheinfüßchen, in Teilung. Dasselbe Exemplar in verschiedenen Zeitabständen gezeichnet: 1 der Anfang, 6 der Schluß der Teilung. Der dunkle Fleck ist der Kern, der helle die Vakuole, d. h. das Excretionsorgan. Die ganze Teilung fand im Laufe von 10 Minuten statt, die Kernteilung (1—3) im Laufe von $1\frac{1}{2}$ Minuten. (Vergr. 700.) Nach Franz E. Schulze.

Digitized by Google

und nur die unverdaulichen Reste gibt sie als für sie vollkommen wertlos wieder von sich.

Aber die Amöbe besitzt nicht nur ein merkwürdig feines Unterscheidungsvermögen, ergreift ihr zusagende Beute und verdaut sie, sondern wenn sie genug gewachsen ist, pflanzt sie sich auch fort. Dies geschieht durch einfache Zweiteilung. Zuerst schnürt sich der Kern in zwei Hälften, die auseinanderrücken, wonach sich auch das Plasma dazwischen teilt. Damit sind aus einer Mutterzelle zwei gleichwertige Tochterzellen entstanden. Setzen wir dem Wassertropfen eine Spur irgendwelchen Giftes, z. B. Alkohol zu, so werden die Bewegungen der Amöbe bald langsamer und hören nach einer kurzen Zeit ganz auf. Was wir auch anwenden mögen, sie beginnen nicht mehr; denn die Amöbe ist an Vergiftung gestorben. Lassen wir das Wasser, in dem sie lebt, austrocknen, so rundet sie sich ab, um eine möglichst geringe Oberfläche aufzuweisen, und scheidet eine feste Hülle aus, um sich dadurch vor dem Vertrocknen zu schützen. Darin kann sie Monate und Jahre in Scheintod verharren, bis sie, aufs neue befruchtet, ihr selbstgebautes Gefängnis sprengt und ihr altes Leben wieder beginnt.

Im höchsten Grade zweckmäßig sind alle Reaktionen eines solchen winzigen Einzellers, als ob in dem Tröpfchen lebenden Schleims, der seinen Körper bildet, schon ein überlegender Verstand und ein bewußter Wille steckte. Und in der Tat scheinen im Protoplasma bereits auf der niedrigsten Entwicklungsstufe der Organismen psychische Prozesse vor sich zu gehen. Alle Einzeller empfinden nicht nur gleich den viel höher organisierten Vielzellern, sondern sie zeigen einen ausgesprochenen Willen, bekunden eine auf bestimmte Vorstellungen beruhende Urteilskraft und wissen sich in jeder Notlage zu helfen. Alle ihre Reaktionen der Außenwelt gegenüber zeugen von höchster Zweckmäßigkeit, die ein für unsere Erkenntnis unbegreifliches Urteilsvermögen voraussetzt. Die Zelle, wie sie uns heute als selbständig lebendes und handelndes Wesen entgegentritt, ja sogar in den Fällen, da sie einseitig spezialisiert im Zellverbande der Mehrzeller von ihrer einstigen Vielseitigkeit das meiste zum Wohle des Ganzen eingebüßt hat, ist ein so überaus komplizierter Organismus, daß nicht der geringste Zweifel darüber bestehen kann, daß sie keineswegs den Anfang, sondern das Ende einer überaus langen Entwicklungsreihe darstellt. Ungezählte Jahrmillionen hindurch hat sich das Leben einfacherer Träger bedient, bis im Laufe der fortschreitenden Entwicklung so überaus kompliziert gebaute Elementarorganismen wie sie uns heute in den Zellen entgegentreten, hervorgingen.

Digitized by Google

So ungeheure Fortschritte auch die mikroskopische Technik der Gegenwart zu verzeichnen hat, so ist doch unsere Erkenntnis vom feineren Bau dieser Elementarorganismen noch eine außerordentlich bescheidene. Was wir darüber wissen, läßt sich kurz dahin zusammen fassen: Der Lebensträger, das Protoplasma einer jeden Zelle besteht aus einer zähflüssigen, gallertigen Substanz, die ihrer chemischen Zusammensetzung nach aus einem Gemenge der verschiedensten quellungsfähigen Eiweißkörper besteht, die eine gewisse Menge Wasser und darin aufgelöste Nährsalze enthalten. So überaus einfach auch dieser Körper dem stark bewaffneten Auge erscheinen mag, so weist er doch bei genauerer Prüfung eine höchst komplizierte, uns vorläufig noch fast ganz unbekannte innere oder Molekularstruktur auf. Färbt man das Protoplasma mit gewissen Anilinfarbstoffen, so läßt sich in ihm zunächst eine aus äußerst feinen Lamellen bestehende Gerüstsubstanz erkennen, die aus sogenanntem Plastin besteht, einem Körper, der sich chemisch dadurch vom übrigen Eiweiß unterscheidet, daß er außer Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff und Schwefel auch noch Phosphor enthält und durch künstliche Verdauung nicht verflüssigt wird. Außerdem kommen darin noch Lecithin und Cholestearin vor.

Diese mit Wasser nicht mischbare Gerüstsubstanz der Plasmalamellen umschließt seifen- oder bierschaumartig, von Fäden durchsetzte winzige Kammern, die mit einer wässerigen Flüssigkeit gefüllt sind, in der verschiedene, mit Wasser mischbare Stoffe, namentlich mannigfaltige Eiweißarten und Kohlehydrate, vorkommen. In dieser sogenannten Kammerflüssigkeit des Protoplasmas können auch unlösliche Stoffe zur Ablagerung gelangen. So wird z. B. in den Zellen der heranreifenden Pflanzensamen die Kammerflüssigkeit durch solche feste Einschlüsse schließlich ganz verdrängt und auch die Gerüstsubstanz trocknet aus; sie ist im reifen Samen nicht mehr plastisch weich, sondern trocken, hart, spröde, zu Mehl zerreibbar.

In die Plasmalamellen eingebettet finden sich mehr oder weniger zahlreiche, meist sehr kleine, oft aber auch größere Körner, Physoden genannt, die kleine Bläschen darstellen, deren Wandung aus Plasmasubstanz gebildet wird, während der durch starke Lichtbrechung ausgezeichnete und deshalb glänzende Inhalt seinen chemischen Reaktionen nach aus Phenolen besteht.

Durch diesen schaumigporösen Bau des Protoplasmas ist die Möglichkeit lebhaftester chemischer Wechselwirkung gegeben, worauf eben der Stoffwechsel, das Leben, beruht. Vermöge der Beschaffenheit seiner

Digitized by Google

Gerüstsubstanz ist das Protoplasma nicht nur kontraktil, d. h. zusammenziehbar und dadurch zu Bewegungen befähigt, sondern es kreist beständig ein Saftstrom durch das Ganze, den man als **Protoplasmaströmung** bezeichnet. Diese Bewegungen im Plasma werden ganz außerordentlich rasch durch Gifte aufgehoben, wie auch die lebendige Substanz der Narkose unterworfen werden kann und alle typischen Erscheinungen der Einwirkung von Äther und Chloroform zeigt. Da das Plasma aller Lebewesen gleicherweise beschaffen ist, kann es auch nicht auffallen, daß die Pflanzen sich ebenso narkotisieren lassen wie die Tiere und Menschen.



Fig. 3. **Protoplasmaströme** in einer Pflanzenzelle bei sehr starker Vergrößerung. k ist der Zellkern.

Während ursprünglich die ältesten Lebewesen, die alle einzellig waren, noch keine Differenzierung in Pflanzen- und Tierzellen zeigten, kam allmählich mit fortschreitender Entwicklung eine Abscheidung in solche zustande, indem sie eben verschiedenen Bedürfnissen angepaßt wurden. Die tierische Zelle blieb beweglich und deshalb ohne eine vom Protoplasma ausgeschiedene Zellumhüllung, während die pflanzliche Zelle auf die Beweglichkeit in der Regel verzichtend sich mit einer solchen schützenden Hülle umgab.

Bei den jungen, neu entstandenen Pflanzenzellen ist diese vom Protoplasma ausgeschiedene **Zellhaut** noch sehr dünn und außerordentlich dehnbar, wie bei den Einzelzellern. Sie besteht ausschließlich aus **Cellulose** oder **Zellstoff**, einem Kohlehydrat, das genau dieselbe chemische Formel ($C_6H_{10}O_5$), aber eine völlig andere Struktur als die Stärke besitzt. Später aber wird diese Membran je nach der Funktion, welche die betreffende Zelle im Zellenstaat eines Pflanzenindividuums zu erfüllen hat, verdickt und mannigfach verändert, durch aufgenommene Kieselsäure oder Lignin, d. h. Holzstoff verstärkt usw. Aber auch dann noch sind die Zellen stets durch feine Protoplasmastränge miteinander in Verbindung.

Das Protoplasma erfüllt nur in sehr jungen Pflanzenzellen den ganzen Zellraum. In ausgewachsenen Zellen bildet es dagegen im einfachsten Falle einen mehr oder weniger großen Sack, welcher der Zellhaut anliegt und einen oft sehr geräumigen, mit **Zellsaft** erfüllten

Digitized by Google

Hohlraum umschließt. Diesen vom strömenden Wandprotoplasma gebildeten Sack nennt man **Primordialschlauch**. Später aber gliedert er sich meist in der Weise, daß der wandständige Protoplasmabelag nach allen Richtungen mehr oder weniger starke Protoplasmastränge durch die ganze Zelle hindurchschickt, wodurch eine größere oder kleinere Zahl von mit Zellsaft erfüllten Räumen, die **Safträume**, geschaffen werden.

In den Safträumen treten vielfach **Vakuolen** auf; diese sind eine Bildung des Protoplasmas, Organe der Zelle, die zur Aufnahme von Ausscheidungsstoffen desselben bestimmt sind. Solche sind beispielsweise die Kohlensäure und andere giftige Stoffwechselprodukte, die bei membranlosen Zellen einfach dadurch entfernt werden, daß die Vakuolen zerplatzen, sobald sie eine bestimmte Größe erreicht haben, und sich so nach außen entleeren. Als Ausscheidungsprodukt unterscheidet sich der Zellsaft auch chemisch von der Kammerflüssigkeit des Protoplasmas. Die letztere reagiert alkalisch, während erstere gewöhnlich sauer ist, als Zeichen dafür, daß giftige sauere Verbindungen in sie übergetreten sind.

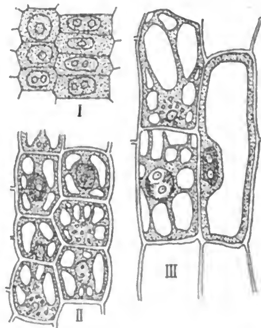


Fig. 4. Parenchymzellen aus der Wurzel der Kaiserkrone in verschiedenen Wachstumsstadien. I Embryonales, jüngstes Stadium, II und III in Streckung begriffene Zellen mit sich mehr und mehr vergrößernden Safträumen. (Nach Sachs.)

Mit der Ausbildung verschiedener Organe im Protoplasma der Zelle kam es sehr frühe auch zur Ausbildung eines **Zellkerns**, als dem biologisch wichtigsten Teile, dem eigentlichen Zentralorgan des Zellenleibes. Heute sind, wie bereits erwähnt wurde, nur verschwindend wenige altertümliche einzellige Lebewesen, wie die Chroococcusalgen, ohne Kern, doch haben sonst alle Algen und Pilze, wie alle übrigen einzelligen Lebewesen der heutigen Schöpfung, stets einen Kern, wenn er auch vielfach bei den winzigsten der letzteren selbst bei den stärksten uns zur Verfügung stehenden Vergrößerungen nicht immer deutlich wahrgenommen werden kann. Es läßt sich also der Satz aufstellen, **bei allen heute noch existierenden Lebewesen ist der Zell-**

Digitized by Google

kern ein ganz unentbehrliches Requisit des Zellleibes geworden, so daß alle Zellen, denen man ihn wegnimmt, ohne ihn auf die Dauer nicht zu leben vermögen und stets in kurzer Zeit zu Grunde gehen.

Als Zentralorgan des Zellenleibes lagert der Zellkern gewöhnlich in der Mitte des ungegliederten Protoplasten und ist in den gegliederten Protoplasten entweder einer Wand der Zellkammer angeschmiegt oder in einer taschenartigen Aushöhlung des Randprotoplasmas im Innenraume aufgehängt. Durch das beständig strömende Protoplasma kann er fortgeschoben und im Innenraume der Zellen herumgeschleppt werden, wobei er mitunter seine Form ändert und sich vorübergehend etwas streckt oder abplattet.

Seine Substanz, welche vom übrigen Protoplasma nur wenig abweicht, ist gleicherweise ein farbloser schleimiger Eiweißkörper, der in seinem Innern ähnliche Verschiebungen wie das Protoplasma des ganzen Zellenleibes erfahren kann. Nach außen ist er durch eine äußerst feine Membran, die Kernhaut, abgegrenzt, welche den Kernsaft und ein darin ausgebreitetes feines Netz- oder Fadenknäuel, die Kernfäden, einschließt. Diese Kernfäden sind für gewöhnlich unregelmäßig netzartig zum sogenannten Kerngerüst ausgespannt, in dessen Maschen sich häufig ein oder mehrere ziemlich stark lichtbrechende Körperchen, die Kernkörperchen, befinden.

Ein Zellkern wird niemals neu aus dem Protoplasma gebildet. Eine Vermehrung von Kernen erfolgt stets nur durch Zweiteilung, und es leuchtet so ein, daß die vielen Billionen von Zellkernen einer großen Pflanze, wie beispielsweise eines Baumes, wie auch eines Tieres oder des Menschen, und mit diesen auch die die Kerne enthaltenden Zellen sämtlich auf einen einzigen Kern zurückzuführen sind, welcher bei der Befruchtung seine Anregung zur Teilung erhielt. Denn alle vielzelligen Lebewesen beginnen heute noch wie in der Urzeit als Einzeller ihr Dasein.

Jede Zellteilung wird durch eine ihr vorausgehende Zellkernteilung eingeleitet und überhaupt erst ermöglicht. Der Zellkern ist in der Keimzelle der Baumeister des sich neu gestaltenden Organismus. Der eigentliche Rassencharakter der Zelle haftet an ihm, während das ihn umgebende Protoplasma mehr das ihn umgebende, schützende und ernährende Gehäuse darstellt.

In jedem Zellkerne eines Organismus schlummern die Anlagen zu den Eigenschaften des Gesamtorganismus,

Digitized by Google

und indem bei der Befruchtung der Keimzelle der Samenkern des Vaters mit dem Eikerne der Mutter sich aufs innigste verbindet, wird nicht nur die Art von Geschlecht zu Geschlecht fortgepflanzt, sondern je nach dem Überwiegen der väterlichen oder mütterlichen Eigenschaften ähnelt der aus dieser Verbindung hervorgehende Sprößling mehr dem Vater oder der Mutter, die ihm beide gleich nahe stehen. Dabei ist aber zu bemerken, daß nicht der ganze Kern, sondern nur das festere, netzartige Kerngerüst der Träger der Vererbungssubstanz ist. Diese Gerüstsubstanz des Kernes färbt sich besonders kräftig mit Farbstoffen und wird deshalb Chromatin genannt, während der weniger leicht färbbare Teil als Linin bezeichnet wird. Dieses letztere bildet bei der Auflösung der Kernsubstanz bei der gleich zu besprechenden Kernteilung den blassen Teil des Kernnetzes, der auch in der Bildung der Chromosomen einbezogen wird.



Fig. 5. Zwei ruhend tierische Epithelzellen mit Centrosomen (die kleinen Doppelpunkte oben) und dem Kern (das größere Gebilde unten). Stark vergrößert, nach Zimmermann.

Außer dem Zellkern besitzt die Zelle aber auch noch ein anderes hochwichtiges, ja gleicherweise unentbehrliches Organ. Es sind dies die Centrosomen, die Zentral- oder Polkörperchen genannt, in Form von ebenfalls, wie die Gerüstsubstanz des Kernes, das Chromatin, leicht färbbaren, stark glänzenden Körnchen, die einzeln oder in Mehrzahl in allen Zellen von Organismen, sowohl bei Pflanzen als auch bei Tieren vorkommen. Um dieselben herum ist ein kugeliger, dunkler Teil des Protoplasmas merklich vom sonstigen Zellinhalt abgesondert; dies ist die sogenannte Sphäre. Centrosom und Sphäre sind ein niemals fehlender Bestandteil aller lebenden Zellen, bestehen aber aus anderem Plasma, als der übrige Zelleib, der auch Farbstoffe ganz anders aufnimmt. Und zwar bestehen nach den neuesten Untersuchungen von Prof. E. Rohde (in der Zeitschrift für wissenschaftliche Zoologie Band 75, 1903 S. 148—220) die Centrosomen wie der Zellkern aus einer Grundsubstanz, in welcher eine stärker färbbare andere Masse eingelagert ist. In der Grundsubstanz liegen ebenso wie in den Zellen feine Körnchen, die meist, jedoch nicht immer strahlenförmig angeordnet sind. Diese Gebilde teilen sich sehr häufig, ohne daß je eine Teilung der Zelle, in der sie leben, erfolgte. Sie führen Bewegungen aus, so daß man sie in den Zellen unregelmäßig zerstreut, wie auch selbständig außerhalb der Zellen findet. Sie zerfallen schließlich in kleinere Stücke, ja in winzige Körnchen, die sich oft in ziemlicher Zahl in manchen

Digitized by Google

Zellkernen finden. Diese kleinsten Kügelchen entwickeln sich jedoch weiter, wachsen wieder heran und zeigen mit zunehmender Größe alle Merkmale der echten Sphären. Sie durchlaufen also ganz unabhängig von der übrigen Zelle ihren Kreislauf, so daß man sie eine Zeit lang für Parasiten oder Symbionten der Zelle ansah. Doch können es keine Schmarotzer sein, sondern sie sind echte, nur sehr selbständig

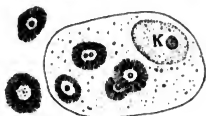


Fig. 6. Nervenzelle aus dem Rückenmark des Frosches mit mehreren gutentwickelten Sphären, die zum Teil schon aus der Zelle ausgewandert sind, k Zellkern. (Nach Rhode.)

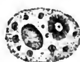
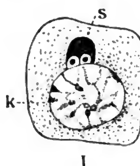


Fig. 7. Zellkern einer ebensolchen Zelle, in dem sich aus kleinen Keimen neue Sphären bilden. (Nach Rhode.)



Fig 8. Zentralkapsel, sog. Faserkörbchen aus den Zellen der Hoden des Olms, Proteus anguineus. (Nach Haidenheim.)



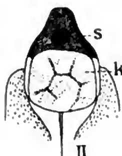




Fig. 9. Die Entwicklung der Samenfäden im Hoden des Meerschweinchens. I Samenkernzelle mit Kern k und Sphäre s (2400fache Vergr.). II Ebensolche Zelle in einem späteren Entwicklungsstadium. III der fertige Samenfaden, dessen Kopf aus dem Kern besteht, den vorne die Sphäre einfaßt (über 1000fache Vergr.). (Nach Nießing.)

funktionierende Organe der Zelle, die besonders bei der Zellteilung eine wichtige Rolle spielen. Aus ihnen und aus dem Kern bildet sich der sogenannte Kopf der Samenfäden, der den väterlichen Anteil der Vererbungsmasse bildet. Es ist doch vollkommen ausgeschlossen, daß Zellschmarotzer die Hauptaufgabe der Befruchtung, die Übertragung der elterlichen Fähigkeiten übernehmen könnten!

Alle Vermehrung der lebenden Organismen ist ein Wachstum über das individuelle Maß hinaus und dient

Digitized by Google

zur Erhaltung des Lebens. Sie geschieht stets durch Zellteilung, bei welcher die verschiedenen Organe der Zelle mitwirken. Nur ganz ausnahmsweise teilt sich der Kern direkt, indem er sich einfach quer einschnürt und so ohne weiteres in zwei Kerne teilt, worauf das übrige Protoplasma der Zelle sich ebenfalls in zwei symmetrische Hälften absondert. Diese heute seltenere Art der direkten Kernteilung, die wohl einmal in der Urzeit der Erde die Regel war, bezeichnet man als amitotische Kernteilung im Gegensatz zur indirekten oder mitotischen Kernteilung, die in folgender komplizierter Weise stattfindet: Das ganze Kernnetz aus Chromatin wird zunächst zu einem langen gewundenen Faden umgebildet, der sich in Form einer Rosette anordnet, wobei sich gleichzeitig die Kernmembran auflöst. Die Rosette aus Chromatin zerfällt dann in eine ebenso große Anzahl zweischenkliger Teilstücke als nach außen ragende Zungen sich an ihr befinden, indem jeweilen die Spitze der Zunge gespalten wird. Diese V-förmig mit der Spitze nach innen gerichteten Teilstücke des Chromatins bezeichnet man als Chromosomen. Daraufhin spaltet sich jedes Chromosom der Länge nach in zwei identische Teile. Schon vorher, während der Rosettenbildung des Chromatins des Kernes, hatten sich die in der ruhenden Zelle kaum sichtbaren Centrosomen geteilt und sind auf gegenüberliegende Teile des Protoplasmas der Zelle gewandert, indem sie den Kern zwischen sich nehmen. Und mit der Chromosomenbildung des

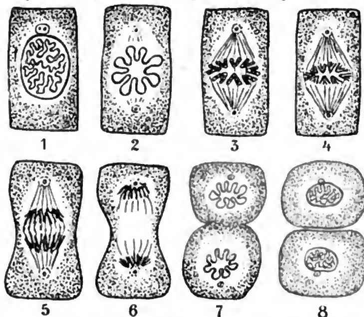


Fig. 10. Schematische Darstellung der indirekten oder mitotischen Kernteilung oder Karyokinese. In 1 bläschenförmiger Kern mit gewundenem Faden, der über sich die beiden Centrosomen birgt. In 2 hat sich der Kernfaden in eine Rosette verwandelt, die Kernmembran hat sich aufgelöst und die beiden Centrosomen sind auseinander gerückt. In 3 ist die Rosette in 8 Chromosomen zerfallen, welche sich in 4 der Länge nach halbieren, in 5 und 6 aber werden sie gegen die Centrosomen gerissen. In 7 bildet sich aus den Centrosomen aufs neue eine Rosette und zuletzt in 8 wiederum der gewundene Faden. Die ganze Zelle hat sich jetzt in zwei gleichwertige Tochterzellen abgeschnürt.

Digitized by Google

Chromatins lassen die beiden einander gegenüberstehenden Centrosomen feine Fäden ihrer Sphären zu den Chromosomen hinstrahlen. Die beiden Hälften der Chromosomen bewegen sich jetzt auseinander, wie es scheint durch eine Verkürzung der letztgenannten feinen Fädchen der Centrosphären, die sie auseinanderreißen. Dabei entstehen zwei getrennte Gruppen von Chromosomen, von denen jede die Grundlage eines neuen Kerns bildet, indem die zu den Centrosomen herangezogenen Chromosomen wieder für sich zu einer Rosette zusammenwachsen, worauf diese letztere dann zu einem unregelmäßigen Knäuel auseinanderfährt und sich der Kern schließlich wieder mit einer Membran umgibt. Bevor noch jeder der so entstandenen beiden Kerne in das Ruhestadium des ursprünglichen Kerns eingetreten ist, hat sich das Protoplasma der Zelle den neuen Kernen entsprechend in zwei gleiche

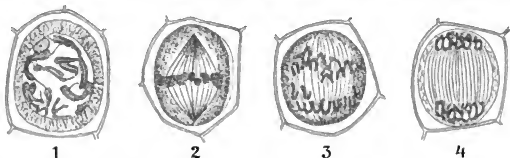


Fig. 11. Veränderungen im Protoplasma des Zellkerns einer Pflanzenzelle bei der Teilung derselben. 1 Die Kernfäden beginnen sich zu ordnen. 2 Es ist die Kernspindel entstanden. 3 Die Elemente der Spindelplatte rücken auseinander und bilden schließlich an den Polen des Zellkerns zwei Knäuel. Sehr stark vergrößert. (Nach Guignard.)

Hälften zu teilen begonnen. So gehen schließlich aus einer Mutterzelle zwei gleichwertige Tochterzellen hervor.

Durch solche Kernteilung mit nachfolgender Spaltung des übrigen Plasmaleibes vermehren sich alle pflanzlichen und tierischen Zellen. Und zwar bezeichnet man diese indirekte Kernteilung gewöhnlich als Mitose oder Karyokinese. Sie erst läßt uns das Wesen der Befruchtung begreifen, welcher alle höheren Lebewesen unterworfen sind.

Die ursprüngliche Vermehrungsart ist die Fortpflanzung durch einzellige Keime, zu der, wie gesagt, auch die mehrzelligen Lebewesen stets wieder zurückkehren, wenn es sich um das Weiterbestehen ihrer Art handelt. Die Fortpflanzung ist ja im tiefsten Grunde nichts anderes als ein Wachstum über das individuelle Maß hinaus. Wie der Freiburger Zoologe Prof. August Weismann in

Digitized by Google

seiner zuerst im Jahre 1882 aufgestellten Keimplasmalehre ausführte und in seinen Vorträgen über Deszendenztheorie 1902 näher begründete, sind alle einzelligen Lebewesen, die sich in dieser Weise durch einfache Zweiteilung vermehren, geradezu als unsterblich zu betrachten, indem sie nur den Tod durch äußere Einwirkungen in Form von Katastrophen kennen. Erst als sich mehrzellige Lebewesen bildeten, die durch zusammengesetzteren Bau und eine weitgehende Arbeitsteilung der daran beteiligten Zellen eine weit größere Leistungsfähigkeit und damit eine Weiterentwicklung zu immer höheren Daseinsstufen erzielten, ist gleichsam der Tod als innere Naturnotwendigkeit in die Schöpfung gekommen. Da begannen nach einiger Zeit die Körperzellen zu altern, schließlich abzusterben und sich in die sie zusammensetzenden einfachsten Stoffe aufzulösen.

Wenn aber auch sie starben und ihre Leiber vergingen, so erhielten sie sich die alte Möglichkeit unsterblich zu sein, indem sie auf der Stufe der Einzelligkeit gebliebene, niemals alternde Zellen, die sie tief in ihrem Innern aufbewahrten, mit der Fortpflanzung ihrer Art betrauten. Diese mit ewiger Jugend und damit auch mit Unsterblichkeit begabten Zellen, die bei den höchst organisierten Pflanzen und Tieren nicht nur Jahre und Jahrzehnte, sondern Jahrhunderte, ja Jahrtausende in Ruhe verharren bis sie sich vom mütterlichen Boden loslösen und selbständig werden, sind die Keimzellen. Bei allen höheren Lebewesen sind sie aber nicht mehr von sich aus fähig nach ihrer Ausstoßung aus dem mütterlichen Organismus sich zu einem neuen Wesen gleicher Art weiterzuentwickeln; sie müssen vielmehr einen Anstoß dazu erhalten und dieser besteht in der Befruchtung.

Es gibt zwar selbst auf verhältnismäßig hoher Entwicklungsstufe noch Lebewesen, die ihre Keime zu neuen Individuen derselben Art auswachsen lassen, ohne durch Befruchtung einen Impuls dazu erfahren zu haben. Diese ungeschlechtliche Fortpflanzung bezeichnet man als Parthenogenese oder Jungfrauengeburt. Diese bewirkt eine ganz bedeutende Erhöhung der Fruchtbarkeit der betreffenden Art, und nur deshalb haben selbst manche höhere und im übrigen fortschrittliche Lebewesen sie zu gewissen Zeiten bei sich eingeführt. Aber auch sie bedürfen daneben noch als absolute Bedingung der Lebenserhaltung einer Verjüngung, die, wie man glaubte, der erschöpften Lebenskraft entgegen wirken und einen neuen Lebensimpuls geben sollte; das ist die geschlechtliche Vermehrung. Diese beruht auf Vereinigung von zwei Keimzellen verschiedener Art, die man als männliche und weibliche Keimzellen unterscheidet.

Digitized by Google

Auch hier ist, wie überall in der Natur, diese Differenzierung der Keimzellen in zweierlei Art ein auf höchste Zweckmäßigkeit gegründetes Verfahren der Arbeitsteilung. Gewöhnlich ist die weibliche Keimzelle, die Eizelle, als die größere mehr oder weniger ruhend und lockt die viel kleineren, mit größtmöglicher Beweglichkeit ausgestatteten männlichen Keimzellen, die Samenzellen, die auch als die Suchenden in weit größerer Zahl gebildet werden, zu sich heran. Dabei sind die mannigfaltigsten Einrichtungen höchst zweckmäßiger Art getroffen, damit letztere die ersteren finden und sich mit ihnen vereinigen können.

In der Vereinigung von Ei- und Samenzelle beruht aber nicht nur eine gegenseitige Steigerung der Lebensenergie und dadurch eine sehr ausgiebige Verjüngung, sondern es vollzieht sich dabei auch vor allem eine Mischung der Eigenschaften zweier individuell verschiedener Lebewesen. Diese letztere strebt die Natur vor allem durch die schon sehr frühe in der Entwicklung des Lebens auf der Erde eingeführte geschlechtliche Fortpflanzung an. Damit bei allen höher strebenden Lebewesen, seien es Pflanzen oder Tiere, eine Mischung ihrer Eigenschaft, die einen Entwicklungsfortschritt verbürgt, ganz sicher zu stande komme, haben deren Geschlechtszellen vollkommen darauf verzichtet, sich von sich aus selbständig teilen zu wollen. Nicht mehr ist es eine einzige, sondern immer sind es zwei verschieden geartete Zellen, die sich mit ihren stets etwas abweichenden Eigenschaften aufs innigste mischen, um aus ihrer Verschmelzung ein neues Wesen der gleichen Art hervorgehen zu lassen. Durch eine solche Verbindung zweier immer etwas verschieden gearteter Zellindividuen war die Variabilität, d. h. die Fähigkeit des Sichveränderkönnens möglichst gesteigert und die Anpassungsfähigkeit der Individuen an die wechselnden Daseinsbedingungen in hohem Maße erhöht. Durch die Ausbildung verschiedener Geschlechter und die Verschmelzung ihrer Geschlechtsprodukte bei der gegenseitigen Befruchtung war die sicherste Gewähr gegeben, daß die erst recht eine fortschrittliche Entwicklung ermöglichende Mischung der verschiedenen guten Eigenschaften sich auch wirklich vollzog. Der Unterschied der Geschlechter, der sich dann an den Trägern der betreffenden verschiedenartigen Keimzellen vollzog, ist also bloß eine sekundäre Erscheinung, einzig nur durch die Notwendigkeit bedingt und hervorgerufen, daß eben zwei Individuen der gleichen Art zur immer weiter gehenden Steigerungsmöglichkeit ihrer guten Eigenschaften gegenseitig die besten Kräfte und Qualitäten an das gemeinsam erzeugte neue Individuum abgeben.

Digitized by Google

Bei der Befruchtung handelt es sich im wesentlichen um die Vereinigung zweier Kerne, wobei ein gegenseitiger Austausch der betreffenden Vererbungssubstanzen stattfindet. Daneben treten aber auch die übrigen wichtigen Zellbestandteile, besonders auch die Centrosomen, in gegenseitigen Austausch, nur können wir diesen Prozeß nicht sichtbar wie beim Kerne verfolgen. So sprechen wir eben nur vom Kerne, verstehen aber darunter ohne weiteres den Gesamtapparat der Eigenschaftsübertragung. Diese Kernverschmelzung findet nun nicht an gewöhnlichen, sondern in bestimmter Weise durch die Eireifung modifizierten Kernen statt. Bevor dieser letztere Vorgang eingetreten ist, kann die Eizelle nicht befruchtet werden, auch wenn sie im Eihalter bereits ihre volle Größe erreicht hat und scheinbar vollkommen ausgebildet ist, so wenig als die Samenzelle vorher befruchtungsfähig ist. Bei der Ei- und Samenreifung stoßen die betreffenden Zellen die Hälfte des Chromatin-Linins der Gerüstsubstanz des Kernes ab und werden dadurch erst gleichsam männlich oder weiblich, nachdem sie vorher wie alle andern Zellen beide Qualitäten in sich vereinigt hatten.

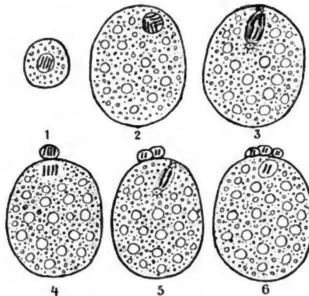


Fig. 12. Schema der Zellteilung bei der Reifung einer Eizelle: 1 Ureizelle, 2 Eimutterzelle mit verdoppelten Chromosomen, 3 erste Reifeteilung, 4 unmittelbar nachher, die erste Richtungszelle ist ausgetreten, 5 während sich die erste Richtungszelle in zwei teilt, bilden die vier im Ei zurückgebliebenen Chromosomen die zweite Richtungsspindel, 6 die reife Eizelle mit den drei Richtungszellen (abortiven Eiern); jede der vier Zellen enthält je zwei Chromosomen, d. h. halb soviel als alle übrigen Körperzellen des betreffenden Individuums. Die größeren und kleineren Kügelchen sind Dottermassen.

Wenn das Ei im Eierstock seine volle Größe erreicht hat, rückt der sonst in seinem Mittelpunkt gelegene Zellkern an die Oberfläche, um dort blasser und blasser zu werden und schließlich scheinbar zu verschwinden. Man glaubte früher, er löse sich auf, und der später zum Vorschein kommende sogenannte „Furchungskern“ sei eine Neubildung. Dem ist aber nicht so, sondern der Zellkern verwandelt sich zur Zeit seines Verschwindens in eine ebensolche Kernteilungsfigur oder

Digitized by Google

Mitose, wie wir sie bereits kennen gelernt haben; nur ist diese erst bei künstlicher Färbung sichtbar. Die Kernmembran löst sich auf, das Centrosom der Eizelle, welches, wenn auch kaum erkennbar, vorher schon neben dem Zellkern gelegen hatte, teilt sich in zwei Centrosomen mit den entsprechenden Centrosphären und diese bilden nun, indem sie auseinanderrücken und ihre Protoplasmastrahlen aussenden, die bereits beschriebene mitotische Figur. Diese Kernteilungsfigur, die man wegen ihrer spindelförmigen Gestalt auch Kernspindel genannt hat, stellt sich bald senkrecht zur Eioberfläche, die sich zugleich hügelartig vorwölbt, und bald kommt es zur Bildung zweier Tochterkerne, von denen der eine in jenem sich vorwölbenden Hügel liegt und sich bald völlig vom Ei zugleich mit einer geringen Menge ihn umgebender Zellsubstanz abschnürt. Den ausgetretenen Kern mit der übrigen ihn umgebenden Zellsubstanz bezeichnet man als „Richtungskörperchen"; da wir aber in ihm eine richtige Zelle vor uns haben, obschon sie ja gegenüber der Eizelle meist winzig klein ist, so bezeichnen wir dieses Gebilde besser als Richtungszelle. Sie hat ihren Namen davon, daß sie an der Stelle austritt, wo später die erste Teilungsebene die sich fortpflanzende Zelle durchschneidet.

Der im Ei liegen gebliebene und der ausgetretene Tochterkern gelangen aber nicht gleich zur Ruhe, sondern beide wandeln sich sofort wieder in eine Kernspindel um und teilen sich nochmals. So schnürt sich also die kleine erste Richtungszelle in zwei halb so große „sekundäre Richtungszellen" ab, während die im Ei gebliebene Kernspindel eine zweite Teilung der Eizelle einleitet, deren in Bezug auf Größe ungleiche Produkte die zweite Richtungszelle und das befruchtungsfähige, reife Ei sind. Damit ist der Reifungsprozeß im Ei abgeschlossen. Die Eizelle, die nur sehr wenig Material an die Richtungszellen oder „Polkörperchen" abgegeben hat und infolge dessen nicht sichtbarlich kleiner geworden ist, hat nun einen befruchtungsfähigen Kern, den definitiven Eikern, bekommen, der durch die rasch aufeinander folgenden beiden Teilungen sich erheblich verkleinert und auch innerlich wesentlich verändert hat.

In ähnlicher Weise wie bei der Eireifung findet auch eine Reduktion des die Vererbungssubstanz bergenden Chromatin-Linins im Kerne der reifenden Samenzelle statt, mit dem einzigen Unterschiede, daß, während die Eizelle von den vier dabei erzeugten Tochterzellen drei, nämlich die drei Richtungszellen, als überflüssig ausstößt und zu Grunde gehen läßt, um nur die vierte als reife Eizelle, vorausgesetzt,

Digitized by Google

daß sie befruchtet wird, sich weiter entwickeln zu lassen, bei den vier kleineren Samenzellen, deren Zahl eine möglichst große sein muß, die in allem so überaus haushälterisch verfahrende Natur alle vier Teilungsprodukte mit auf die Hälfte reduzierter Kernsubstanz verwenden kann.

Es steht nun außer allem Zweifel, daß die bei der Eireifung ausgestoßenen und dann zu Grunde gehenden drei Richtungszellen abortive, nutzlos gewordene Eizellen sind, daß aber in einer weit zurückliegenden Zeit der Entwicklung des Pflanzen- und Tierstammes jedes der vier Nachkommen einer mütterlichen Eizelle zu entwicklungsfähigen Keimzellen wurde, die sich in allen Fällen nach der Befruchtung weiter entwickelten. Es ist auch unschwer zu erraten, daß die ungleiche Teilung der Eizelle bei der Reifung, welche heute zu einer für jede Möglichkeit einer Weiterentwicklung ganz ungenügenden Größe dreier dieser Abkömmlinge führt, Hand in Hand mit dem Bestreben ging, weniger Eier, aber diese dafür immer vollkommener mit Bildungs- und Nahrungsstoffen ausgestattet, zu erzeugen. Indem so die eine der vier Tochterzellen auf Kosten der drei anderen möglichst ausgiebig mit Protoplasma versorgt wurde, erreichte sie mit der Zeit diese ganz unverhältnismäßige Größe, während die kleineren Samenzellen, von denen sozusagen nie genug vorhanden waren, wie ursprünglich, so auch heute noch, alle zur Verwendung gelangen und deshalb auch gleichmäßig ausgebildet und mit nur wenig Protoplasma ausgestattet werden.

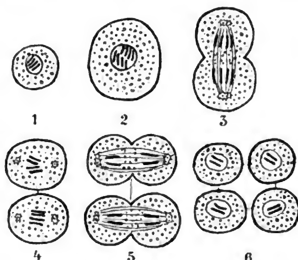


Fig. 13. Schema der Zellteilung bei der Reifung einer Samenzelle: 1 Ursamenzelle, 2 Samenmutterzelle, 3 deren erste Reifeteilung, 4 die beiden Tochterzellen, 5 die zweite Reifeteilung, durch welche 6 die vier reifen Samenzellen entstehen, jede mit der halben Chromosomenzahl, also im vorliegenden Falle 2 statt 4.

Diese Vorgänge der Ei- und Samenreifung verlaufen bei allen pflanzlichen und tierischen Organismen, welche befruchtungsbedürftig sind, in fast genau derselben Weise, nur daß in manchen Fällen die nachträgliche Teilung der ersten Richtungszelle bei der Eireifung unterbleibt, so daß also im ganzen statt drei nur zwei Richtungszellen gebildet werden. Es ist dies eine sekundäre Anpassung, welche den

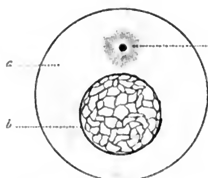
Digitized by Google

ganzen Prozeß vereinfacht, indem die dem Untergang geweihte erste Richtungszelle ihre doch vollkommen zwecklose Teilung unterläßt. Diese Vereinfachung finden wir z. B. auch beim Seeigel. Bei den Geschlechtsprodukten dieses Tieres, an denen Prof. Oskar Hertwig in Berlin, als an besonders leicht zugänglichen und sichtbar zu machenden Objekten, diese Vorgänge zum ersten Male studierte, geht die Reifung der Eier schon im Eierstocke vor sich, bevor sie noch mit den Samenzellen in Berührung kommen. Bei allen höheren Lebewesen geht jedoch in der Regel dieser Reifungsprozeß erst vor sich, wenn das Ei den Eierstock bereits verlassen hat und von Samenzellen, die die Befruchtung vornehmen möchten, umschwärmt wird. Aber keines dieser letzteren wird zugelassen und kann eintreten, bis auch die zweite Richtungsteilung des Eies ihren Ablauf genommen hat. Und ist endlich die Eireifung vollständig, so wird stets nur eine Samenzelle in das Innere des Eies zugelassen; dann schließt sich alsbald das Ei durch Bildung einer für alle übrigen Samenzellen undurchdringlichen Membran, damit keine weiteren einzudringen vermögen, die die nun folgende Entwicklung nur stören und ihren normalen Verlauf verhindern würden.

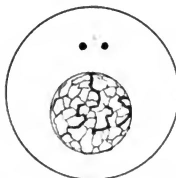
Der hier besprochene Zellenreifungsprozeß der sich zur Kopulation rüstenden Ei-, beziehungsweise Samenzelle bezweckt, daß in dem neuen Lebewesen, welches aus der befruchteten Eizelle seinen Ursprung nehmen soll, gleich viel Chromatin, das wir als hauptsächliche Vererbungssubstanz bezeichnet haben, enthalten sei als in den elterlichen Zellen. Damit nun bei der Befruchtung sich eine gleiche Menge väterlicher und mütterlicher Vererbungssubstanz im Ei zusammenfinde, muß vorher aus der Ei- und Samenzelle je die Hälfte derselben hinausgestoßen werden. Durch die letzten Teilungen des Kernes, mit welchen die Ei- beziehungsweise Samenreife eintritt, wird einfach bezweckt, daß der Chromatinüberschuß beseitigt werde. So haben dann Ei- oder Samenkern, wenn sie bei der Befruchtung miteinander verschmelzen, zusammen eine gleiche Menge Chromatin oder Vererbungssubstanz. Jeder derselben hat für sich nur die Hälfte desselben, kann also nur die halbe Chromosomenzahl bei der Teilung der Eizelle ausbilden, welche die Körperzellen des betreffenden Lebewesens, sei es Pflanze oder Tier, aufweisen. Würde diese Ausgleichung in den zur Befruchtung gelangenden Zellen nicht stattfinden, daß eben bevor die neue Kernsubstanz sich mit der alten verbindet, gleich viel von beiden austritt, so würde das Gleichgewicht in den Vererbungsqualitäten hochgradig gestört und eine normale

Digitized by Google

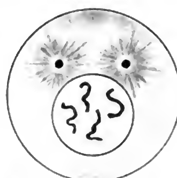
Schema der Kern- und Zellteilung.



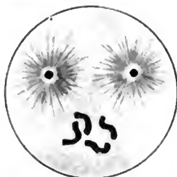
1. Ruhende Zelle mit Plasmaleib a, Centrosom c und Kern b, in welchem das Netzwerk von Chromatin rot gefärbt ist.



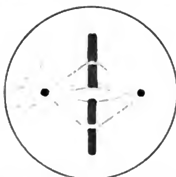
2. Teilung und Auseinanderweichen der Centrosomen, Zusammenziehung des Chromatins im Keim.



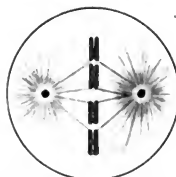
3. Die Centrosomen sind noch weiter auseinander getreten, das Chromatin ist in 4 Chromosomen zerfallen.



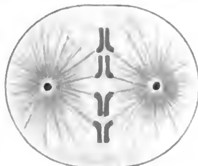
4. Die Centrosomen stehen einander fast gegenüber und nehmen nach Auflösung der Kernhaut die Chromosomen zwischen sich.



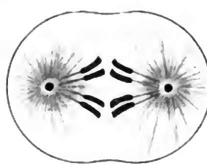
5. Durch Einwirkung der Centrosomen stellen sich die Chromosomen senkrecht zu den von jenen ausstrahlenden Kraftlinien.



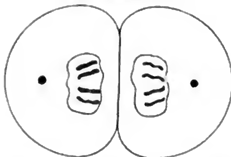
6. Durch Anziehung der Centrosomen spalten sich die Chromosomen in zwei gleiche Hälften.



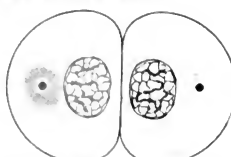
7. Infolge vermehrter Anziehung der Centrosomen rücken die geteilten Chromosomen immer weiter auseinander.



8. Die Chromosomenhälften stellen sich in die Richtung der Kraftlinien und der Plasmaleib der Zelle beginnt sich einzuschnüren.



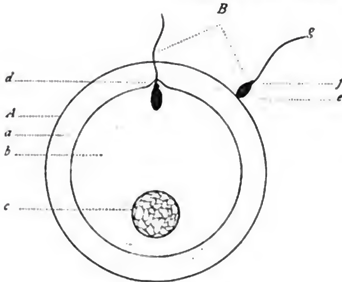
9. Die Mutterzelle hat sich in zwei gleichwertige Tochterzellen geteilt, deren Kerne eine gleiche Menge Chromatin, d. h. Vererbungssubstanz enthalten. Die Centrosomen haben ihre Strahlenfäden verloren.



10. Die beiden Tochterzellen trennen sich und das Chromatin der nunmehr wieder mit einer Haut umgebenen Kerne löst sich beruhigt zum Netzwerk wie zuvor auf.

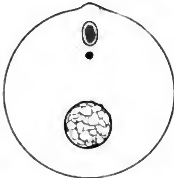
Digitized by Google

Schema der Befruchtung.

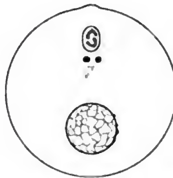


11. Reifes Ei, dessen Chromatin blau markiert ist. Durch die dicke Eihaut hat sich oben ein Samenfaden hindurchgebohrt, dessen Chromatin rot angegeben wurde; ein anderer Samenfaden ist zu spät gekommen und kann infolge Gerinnung der Eihaut nicht mehr hineintreten.

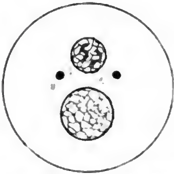
A Eizelle. B Samenfäden. a Dotterhaut, b Protoplasma der Eizelle oder Eidotter, c sein Chromatin, d eingedrungenes Spermatozoon, e f zweites, zu spät gekommenes Spermatozoon, g dessen Schwanz.



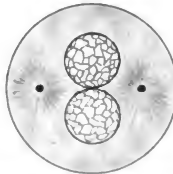
12. Oben Samenkern mit dem mitgebrachten Centrosom, unten Eikern; beide mit dem halben Chromatin.



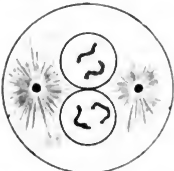
13. Das Centrosom ist auf Kosten des Eies gewachsen und hat sich geteilt. Im Samenkern Andeutung der halben Chromosomenzahl.



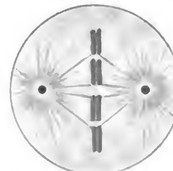
14. Der Samenkern wächst durch Aufnahme von Eisubstanz, die Centrosomen treten immer mehr auseinander.



15. Der Samenkern ist nun so groß geworden wie der Eikern, die Centrosomen stehen einander gegenüber und beginnen ihre Einwirkung auf jene.



16. Samen- und Eikern haben ihr Chromatin zusammengezogen und Chromosomen gebildet; die Kernhäute lösen sich auf und die Chromosomen treten unter den Einfluß der von den Centrosomen ausstrahlenden Kraftlinien.



17. Die Chromosomen stellen sich quer zu den Kraftlinien der Centrosomen, halbieren sich und jede Hälfte bildet wie in Fig. 7—10 der vorigen Tafel einen neuen Kern, den Furchungskern, mit ebensoviel Vererbungssubstanz vom Vater als von der Mutter. Damit ist die Eifurchung eingeleitet, welche auf einer weitergeführten Zellteilung beruht.

Digitized by Google

Weiterentwicklung der Eizelle nach der Befruchtung unmöglich gemacht werden.

So begreift man auch, daß die Zahl der Chromosomen durch alle Generationen von Zellen während Jahrmillionen immer dieselbe bleiben muß, wie sie denn auch bei allen Individuen einer Art dieselbe bleibt. Man kennt diese Ziffer bereits für viele Arten. So findet man beim Pferdespulwurm, dessen Eier besonders günstige und vielstudierte Objekte zur Beobachtung der Vorgänge der Eireifung und Eibefruchtung sind, 2 Chromosomen in der Kernteilungsspindel, bei anderen Würmern 4 oder 8, bei der Maulwurfsgrille ebenfalls 8, bei Heuschrecken 12, bei einem Meereswurm, Sagitta, 18, bei der Ameise 20, bei der Weinbergschnecke, dem Salamander, der Forelle, der Maus, ebenso bei der Lilie, dem Eisen- oder Sturmhut, der Nieswurz, wie auch nach den neuesten Untersuchungen von Duesberg beim Menschen, für den bisher meist 16 angegeben wurden, 24, beim Regenwurm und bei manchen Schnecken 32, bei den Haien 36 und schließlich bei einem Artemia genannten kleinen Salzwasserkrebs gar 168. Alle diese Zählungen kann man begreiflicherweise nur während der Kernteilung machen, da nachher die Chromosomen im faden- oder netzförmigen Gewirr des Kerngerüstes auseinanderfließen und nicht mehr unterscheidbar sind, um aber sofort wieder in der alten Zahl und Gestalt zu erscheinen, sobald der Kern und seine Adnexe wieder in Teilung treten.

Solchermaßen vorbereitet können wir nun dem Befruchtungsvorgange, der sich in ganz gleicher Weise wie bei der mitotischen Kernteilung abspielt, volles Verständnis entgegenbringen. Nehmen wir als Beispiel dafür das durch Eduard van Benedens klassische Untersuchungen berühmt gewordene Ei des vorhin erwähnten Pferdespulwurms, bei dem sich mancherlei günstige Umstände vereinigen, um das Wesentliche des Vorgangs besonders deutlich erkennen zu lassen. Die Befruchtung findet hier, wie bei allen höheren Lebewesen, im Innern des weiblichen Körpers, dem Sitze der Eier, statt, und zwar in einem erweiterten Abschnitte des Eileiters, in welchem sich bei einem befruchteten Weibchen stets eine größere Anzahl der sonderbaren kleinen Samenzellen befindet. Es sind dies nicht wie sonst fast stets fadenförmige, mit einem dicken Kopfe, eben dem Samenkern mit seinen Adnexen bestehende Zellen, sondern sphärische Körperchen mit einem hornartigen Aufsatz. Kommt nun eine solche Samenzelle an ein ausgereiftes Ei heran, so wölbt sich an der Berührungsstelle ein Wulst, der sogenannte Empfängnishügel, hervor, an den sich die Samenzelle fest anlegt

Digitized by Google

und durch den sie in das Ei hineingezogen wird, wobei jedenfalls auch amöboide Bewegungen der Samenzelle mitwirken. Bald ist die ganze Samenzelle samt Kern im Innern der Eizelle verschwunden. Hier verändert sie sich rasch, indem ihr ganzer Körper immer blässer wird und zuletzt ganz verschwindet, während der Samenkern bläschenförmig wird und bald zu ziemlicher Größe heranwächst. Inzwischen hat sich auch der Eikern, der bereits bei seiner Reifung die zweite Richtungszelle ausstieß, zu einem bläschenförmigen Gebilde umgestaltet. Beide Kerne, die anfänglich noch ein unregelmäßiges Netz von Chromatinsträngen aufwiesen, bilden daraus in der bereits mitgeteilten Weise ein knäuelartig gewundenes Band, das sich zuletzt in zwei große und relativ dicke, winklig gebogene Schleifen teilt.

Zugleich hat sich auch ein Kernteilungsapparat in dem Raume zwischen den beiden Kernen, die man nunmehr als männlichen und weiblichen Vorkern bezeichnet, entwickelt, zwei vorher unsichtbare Centrosphären kommen zum Vorschein, die zuerst nahe beieinander liegen, dann aber weiter auseinander rücken, um die Pole einer Kernspindel zu bilden, in deren Äquatorialebene nun die Chromosomen des männlichen und weiblichen Vorkerns eintreten. Die Kernmembrane der letztern verschwinden und beide Kerne verschmelzen zusammen zu einem Kern, der, weil sich nunmehr das Ei zur Furchung vorbereitet, als Furchungskern bezeichnet wird. Jede der Chromosomenschleifen spaltet sich der Länge nach und je eine der auseinandertretenden Hälften wandert nach dem einen, die andere nach dem andern Tochterkerne hin. Jede der beiden getrennten Gruppen von Chromosomen bildet die Grundlage eines neuen Kerns, indem sich die mit Hilfe der Sphären zu den Centrosomen herangezogenen Chromosomen zu einer Rosette und diese wiederum zu einem unregelmäßigen Knäuel umbilden. Der Teilung des Kernes folgt diejenige des übrigen Zellleibes. Damit ist die Furchung der Eizelle eingeleitet, und indem sich die Teilung an jeder Tochterzelle stetsfort gleicherweise wiederholt, baut sich die aus immer mehr Tochterzellen zusammengesetzte Furchungskugel auf und entsteht weiterhin der Embryo, dessen Zellen durch rastlos weitergeführte Teilung schließlich das oft aus vielen Billionen von Zellen bestehende erwachsene Individuum bilden.

Im wesentlichen verläuft die Befruchtung und die sich daran anschließende immer weitergehende Teilung der Eizelle bei allen Pflanzen und Tieren in derselben Weise. Stets dringt nur eine Samenzelle in die reife Eizelle ein, wandelt sich darin aus einem anfänglich kleinen

Digitized by Google

Gebilde zu einem nahezu oder genau so großen Kerne als ihn das so sehr viel größere Ei in seinem Eikerne besitzt, um; dieser enthält dabei die gleiche, auf die Hälfte reduzierte Zahl von Chromosomen wie der Eikern, und indem beide mit einander verschmelzen und zum Furchungskerne werden, ist dafür Sorge getragen, daß der sich neuaufbauende Organismus genau soviel Vererbungssubstanz aus Chromatin-Linin in allen sich in ihm in der Folge bildenden Zellkernen besitzt, als die elterlichen besaßen.

Bei niederen Tieren, die nicht mehr auf der Stufe der ungeschlechtlichen Fortpflanzung sind und bei welchen sich gewisse Experimente an den Eiern infolge ihrer Größe und Unempfindlichkeit gegen solche Eingriffe vornehmen lassen, ist es gelungen zu zeigen, daß auch ohne Eindringen eines Samenkerns in den Eikern der reifen Eizelle durch gewisse chemische Einwirkungen eine zur Furchung führende Weiterentwicklung des Eies möglich ist. Es sei hier nur an die epochemachenden Versuche von Prof. Jakob Loeb in Chicago erinnert, dem es experimentell gelang, durch Einwirkenlassen bestimmter Salzlösungen die Eier von Seeigeln ohne irgendwelche Befruchtung durch männlichen Samen zur Weiterentwicklung zu bringen, wenn auch allerdings nur ganz abnorme, vor allem zwerghafte Seeigel daraus entstanden. Auch gelang es an Seeigeleiern, denen der Eikern genommen und dafür ein Samenkern bei der Befruchtung eingeführt worden war, eine Weiterentwicklung herbeizuführen, aber diese lieferte ebenfalls nur ganz kleine Individuen. Alle diese auf ungeschlechtlichem Wege bei sonst sich nur geschlechtlich fortpflanzenden Tieren vorgenommenen künstlichen Entwicklungsarten der Eier mußten schon deshalb zur Ausbildung ganz abnormer, kleiner Individuen führen, weil ja in den Kernen aller solcher, auf künstliche Weise ohne die sonst den alleinigen Impuls zur Weiterentwicklung gebenden Befruchtung zur Weiterentwicklung gebrachten Eier nur die halbe Menge des von uns als Träger der Vererbungssubstanz bezeichneten Chromatin-Linins vorhanden ist. Als Folge davon wiesen selbstredend alle Kernteilungsfiguren dieser künstlich zur Zellteilung gebrachten, entweder nur mit Eikern oder nur mit dem Samenkern sich entwickelnden Eier bloß die halbe Zahl der sonst für normale Individuen ihrer Art unerläßlichen Chromosomenzahl auf. Deshalb kann es uns auch nicht wundern, daß aus solchen Eizellen, die nur halbe Kerne besaßen, abnorme, kleine Individuen hervorgingen.

Digitized by Google

II.

Die Entfaltung des Lebens.

Alles Lebendige hat als fundamentale Eigenschaft und Äußerung des Lebens die Fähigkeit, sich vom Einfachen zum Komplizierten zu entwickeln. Durch diesen den Lebewesen innewohnenden Trieb zur Vervollkommnung ist von selbst die Möglichkeit einer sozusagen unbegrenzten Entwicklung in die Schöpfung gelegt worden. Indem nun die Vererbungssubstanz, das Chromatin-Linin der Keimzellenkerne, dieselbe Fähigkeit des Variierens besitzt, wie das Individuum selbst in seinem Protoplasma, so ist damit zugleich mit der Entstehung der ersten Zellen der Grund zu der wunderbarsten Entfaltung derselben nach allen möglichen Richtungen hin gelegt worden. Ist nun aber die Individuenmischung durch das Zusammentreten und die Copulation von zwei verschiedenen Keimzellen, der weiblichen Ei- und der männlichen Samenzelle, die Voraussetzung einer möglichst ausgiebigen Variationsmöglichkeit, die Variation aber die Voraussetzung der Evolution und diese wiederum ein Grundphänomen des Lebens überhaupt, so können die Mittel dazu nicht üppig genug sein. Und dies ist auch tatsächlich in der Schöpfung der Fall.

Wie ungezählte Trillionen und Quadrillionen von Weltkörpern ruhelos im Universum kreisen, so schwärmen seit den frühesten Schöpfungstagen ebenso zahllose, eine gegenseitige Verbindung und Lebenserneuerung suchende Keime durch das Wasser zuerst der Weltmeere und dann auch durch das mit Hilfe der Sonnenkraft daraus gepumpte und in den Wolken über das aus der Flut emportauchende Festland ausgebreitete süße Wasser, zu allerletzt, wenigstens in der Pflanzenwelt, auch durch die Lufthülle der Erde. So durchflutet beständig ein unübersehbarer Strom des Lebens die ganze Oberfläche unseres Planeten soweit die Biosphäre reicht.

Digitized by Google

Aber ausgegangen ist das Leben, das müssen wir uns immer wieder ins Gedächtnis zurückrufen, von der salzhaltigen Flut der Urmeere, da, wo das vorzugsweise kochsalzhaltige Wasser über Untiefen dahinbrauste und dröhnend sich am Strande brach. Und als sich endlich das Leben, das durch ungezählte Jahrmillionen hindurch auf die Salzflut des Meeres beschränkt blieb, sich zunächst die Ästuarien mit Brackwasser und dann durch Vermittlung der in dieselben einmündenden Flüsse auch das ganze Gebiet des Süßwassers, später auch das mit Feuchtigkeit durchtränkte Festland und zuletzt gar die Luft als willkommenes Wohngebiet eroberte, da nahm es das salzhaltige Wasser als Grundbedingung zu seinem Sein auch dahin mit. Bei allen Lebewesen, seien es Pflanzen oder Tiere, die mit der Zeit auch aus dem Wasser auf das Festland gingen und sich selbst in die Luft erhoben, ist das Substrat, die Grundlage des Lebens, das Plasma, stets noch von Salzwasser umspült, wie es in der Urzeit bei den das Meer bewohnenden, einfacher gebauten Vorfahren der Fall war. Nicht nur sind alle Meeresbewohner und ihre nächsten Verwandten auf dem Festlande stets sehr kochsalzreich, sondern alle Tiere bis hinauf zu den höchsten Vertretern des Wirbeltierstammes mit Einschluß des Menschen, die seit mehr als 150 Millionen Jahren sich vollständig von der Salzflut emanzipierten und vollkommene, von Luft umspülte und luftatmende Land- beziehungsweise Lufttiere wurden, sind sämtlich noch auffallend kochsalzreich. Die Landpflanzen dagegen, die schon viel länger als die Landtiere die Salzflut des Meeres verließen und sich auf dem festen Erdreich einbürgerten, haben dieses uralte Erbe schon weit mehr aufgegeben und bei der Schwierigkeit, an dieser neuen Wohnstätte sich das nötige Kochsalz oder Chlornatrium zu beschaffen, sich mit den hier leichter zu bekommenden Kaliumsalzen begnügt.

Prof. Gustav von Bunge in Basel, der zuerst auf diesen Umstand aufmerksam machte, sagt deshalb mit Recht in seinem trefflichen Lehrbuche der physiologischen und pathologischen Chemie: „Ist der hohe Kochsalzgehalt der jetzigen Festlandbewohner nicht ein Beweis mehr für den genealogischen Zusammenhang, welchen anzunehmen wir durch die morphologischen Tatsachen gezwungen werden!? Tatsächlich hat doch jeder von uns in seiner individuellen Entwicklung ein Stadium durchgemacht, in welchem er noch die Chorda dorsalis (Rückensaite) und die Kiemenspalten der meerbewohnenden Vorfahren besaß. Warum sollte nicht auch der hohe Kochsalzgehalt unserer Gewebe ein Erbstück aus jener Zeit sein?

Digitized by Google

Wäre diese Auffassung richtig, so müßten wir erwarten, daß die Wirbeltiere in ihrer individuellen Entwicklung um so kochsalzreicher sind, je jünger sie sind. Dieses ist tatsächlich der Fall. Durch zahlreiche Analysen habe ich mich davon überzeugt, daß ein Säugetierembryo kochsalzreicher ist, als das neugeborene Tier und daß dasselbe nach der Geburt immer ärmer an Chlor und Natron wird in dem Maße, als die Entwickelung fortschreitet. — Das natronreichste Gewebe unseres Körpers ist der Knorpel. Dieser ist zugleich das älteste Gewebe. Es ist histologisch vollkommen identisch mit dem Gewebe, welches in dem Skelett der meerbewohnenden Selachier (Haifische und Rochen) noch heutzutage während des ganzen Lebens persistiert. Das Skelett des Menschen wird bekanntlich gleichfalls ursprünglich als ein knorpeliges angelegt und schon vor der Geburt zum größten Teil durch ein knöchernes verdrängt. Teleologisch ist diese Erscheinung nicht zu erklären. Sie erklärt sich nur aus der Descendenzlehre. Man kann nicht etwa annehmen, das knorpelige Stadium müsse durchlaufen werden, damit aus dem Knorpel der Knochen entstehe. Dieses ist tatsächlich nicht der Fall. Das Knochengewebe entsteht nicht aus dem Knorpelgewebe. Der Knorpel wird vollständig resorbiert und vom Perichondrium (Knorpelüberzug) aus wächst das Knochengewebe in den Raum hinein, den der Knorpel einnahm. Und nun kommt hinzu, daß das älteste Gewebe, der Knorpel, zugleich auch das natronreichste ist.

Das sind Tatsachen, die eine ungezwungene Erklärung nur in der Annahme finden, daß die Wirbeltiere des Festlandes aus dem Meere stammen und noch gegenwärtig im Begriffe sind, sich allmählich der kochsalzarmen Umgebung anzupassen. Diesen Prozeß der Anpassung halten wir künstlich dadurch auf, daß wir zu den Resten greifen, die unser ursprüngliches Element, die Salzflut, auf dem Festlande zurückgelassen — zu den Salzlagern."

Die bei weitem am meisten dem kochsalzarmen Festlande angepaßten Tiere sind die Insekten, welche nicht mehr Natron enthalten als die Pflanzen, die sie ernähren, und diese letzteren enthalten gemäß ihrer weitgehenden Anpassung an das Landleben, oft nur Spuren von Natron, dafür aber reichlich Kali. Diese Insekten haben auch weitaus zuerst unter allen Tieren die salzige Flut verlassen und sich dem Luftleben angepaßt; und indem sie ihren Körper mit luftführenden Kanälen, den Tracheen, durchlüfteten, haben sie sehr frühe schon nicht nur die Erde, sondern besonders auch die Luft erobert, deren ausschließliche Beherrscher sie noch am Ende der Primärzeit waren.

Digitized by Google

Je weitgehender die Natronsalze in der Pflanze, wie im Tiere, durch die von dem Leben auf dem Festlande bedingten Kalisalze verdrängt wurden, um so länger ist sie landansässig und um so weitgehender hat sie sich von der Urheimat alles Lebens, dem Meere, emanzipiert. So sind heute nur noch die Meerespflanzen und diejenigen, welche am Meeresufer und auf den eingetrockneten Meeresbecken, den Salzsteppen, leben, reich an Natronsalzen. Die wenigen Vertreter unserer Flora, die natronreich sind, wie z. B. die Chenopodiaceen oder Meldengewächse, typische Schuttpflanzen, welche nur auf kochsalzreichem Boden gedeihen, haben nicht nur ihre nächsten Verwandten in der Flora der Salzsteppe oder der Meeresküste, sondern sind auch selbst von dorther bei uns eingewandert. So stammt beispielsweise der Spinat, eine uralte Gemüsepflanze, die in wildem Zustande nicht mehr gefunden wird, mit aller Bestimmtheit aber aus dem Orient bei uns eingeführt wurde, zweifelsohne aus der westasiatischen Salzsteppe, während Runkelrübe und Mangold bestimmt von einer an den Küsten Europas bis nach der Nordsee verbreiteten salzliebenden Pflanze abstammen.

So hat sich das Leben nach und nach vom Meere ins Süßwasser, von da auf das feuchte, dann aufs trockene Land ausgedehnt, zuletzt in die Luft erhoben und sich aufs Weitgehendste den allerverschiedensten, an der Erdoberfläche herrschenden Verhältnissen angepaßt. Obschon der Lebensprozeß dank seines Substrates aus einer von Wasser und Salzen durchtränkten Eiweißmischung sich nur zwischen verhältnismäßig engen Grenzen abzuspielen vermag, hat sich das Leben selbst die unwirtlichsten und ihm absolut feindlichen Gebiete erobert. Und zwar ist die Anpassungsfähigkeit der Organismen eine um so größere und weitergehende, je einfacher ihr Bau ist, je tiefer wir also in der Reihe der Lebewesen hinabsteigen. Es ist ja auch begreiflich, daß je einfacher ihre Organisation ist, desto größer ihre Anpassungsfähigkeit an die verschiedensten Lebensbedingungen ist und infolgedessen die Lebensgrenzen um so elastischer werden. Je höher aber die Organisation der Lebewesen gestiegen ist, je weiter sich ihr Aufbau aus einer Anlagerung von vielen Zellen nach dem Prinzipe der Arbeitsteilung differenziert hat, um so engere Grenzen sind ihrer Lebensmöglichkeit gesetzt. So können wir allgemein sagen, *daß die Entwicklungshöhe der Organismen im umgekehrten Verhältnisse zu ihrer Anpassungsfähigkeit steht.*

An die größten Hitzegrade haben sich also nicht etwa die höheren

Digitized by Google

Tropenpflanzen, sondern gerade die niedrigsten Pflänzchen, die Algen und Pilze, am besten angepaßt. So haben wir im ersten Bande bereits die Algen der heißen vulkanischen Quellen kennen gelernt, die beispielsweise in den Sinterbecken im Geisirgebiete des Yellowstonegebietes in Nordamerika in warmem Wasser bis zu 80° C. nicht nur aushalten, sondern in diesen Temperaturen, in denen sonst alles lebendige Eiweiß sofort gerinnt, üppig gedeihen. Ihnen lassen sich zahlreiche andere thermophile Wasserbewohner anreihen. So gedeihen in einer warmen Quelle bei Las Trincheras in Venezuela, die bei ihrem Ursprunge eine Wärme von 85—93° besitzt, Diatomeen, d. h. Spaltalgen mit kieseligen Schalen, ebenfalls bei einer Temperatur von 80°. Dagegen treten sie in europäischen Thermen erst bei stärkerer Abkühlung auf, so in den Karlsbader Quellen nach Agardh und Pfeffer erst da, wo die Temperatur des Wassers auf 57° gesunken ist, nach Hoppe-Seiler am Rande von Fumarolen in Wasserdampf von 60°. Sogar wenn diese warmen Dampfexhalationen mit schwefeliger Säure, wie beispielsweise in der Solfatara von Pozzuoli bei Neapel, durchtränkt sind, verhindert solches nicht, daß gleichwohl Algen aufs beste an den Rändern der giftigen Schlote gedeihen. Ja, Schimper sah auf Java am Rande von Fumarolen sogar höhere Gewächse, wie das javanische Rhododendron, üppig in heißen Dämpfen gedeihen, deren Temperatur er allerdings nicht maß, die aber sehr hoch gewesen sein muß.

Aber nicht bloß bescheidene Pflanzen, auch niedere Tiere aller Art haben sich in manchen heißen Quellen weitgehend der sonst dem Leben feindlichen Hitze angepaßt. So führen kleine Insekten der Gattung Gyrinus, zu denen auch die bei uns auf Ansammlungen von Wasser blitzschnell im Kreise hin und herfahrenden Taumelkäfer gehören, ihre merkwürdigen Tänze noch auf dem Wasser 70—80° C. heißer Quellen auf. In Abessinien hat man Fische von 1—2 cm Länge in heißen Quellen von 44° und auf der Philippineninsel Luzon welche in solchen von 63° angetroffen. Die 75° heißen Quellen von Tozer und Cafra in Nordafrika beherbergen einen Fisch der Gattung Sparus und in den an ihrem Ausflusse 95° C. heißen Quellen von Hamman Meskhutin in Algerien leben Insekten, Krebse, Frösche und Fische. Wie diese Lebewesen sich gegen die Hitze schützen ist uns unfaßlich, da tierisches Protoplasma bei einer Temperatur von 40—50° C. durch Gerinnung abstirbt.

Im ganzen ist aber die schon durch ihre Unbeweglichkeit un-

Digitized by Google

empfindlicher angelegte zähe Pflanze besser geeignet, sehr hohe Temperaturen ohne Schaden zu ertragen, als das sensiblere, bewegliche Tier, das diesen, wenn immer möglich, zu entrinnen sucht. So sind namentlich Wüstenpflanzen nicht nur weitgehend auf die Ertragung von Trockenheit, sondern auch auf diejenige großer Hitzegrade eingerichtet.



Fig. 14. An große Hitze und lange Zeiten der Dürre angepaßte Kakteen und baumartige Liliaceen in den Bergen östlich von Tehuacan, Mexiko. (Nach Photogramm von Dr. H. Roß.)

Die Mannaflechte der Wüste dauert auf der Oberfläche von Gestein aus, das sich bei voller Sonnenglut am Nachmittage bis zu 70° C. erwärmt. An der westafrikanischen Loangoküste hat man fast unter dem Äquator eine Erhitzung der oberflächlichen Bodenschichten von 84,6° C. beobachtet, ohne daß die darin eingebetteten Samen der verschiedenen auf den Beginn der Regenzeit harrenden Kräuter zu Schaden kämen. Gleicherweise wie die Samen höherer Pflanzen können auch die Dauerzustände der niedrigstehenden Gewächse hohe Temperaturen mit Leichtigkeit ertragen. Zahlreiche Bakteriensporen können sogar einige Stunden hindurch in siedendem Wasser liegen, ohne zugrunde zu gehen; ja, bei manchen derselben, wie beispielsweise bei denjenigen

Digitized by Google

des winzigen Bacterium subtilis, wird die Keimkraft durch Behandlung mit siedendem Wasser geradezu erhöht, wirkt also die sonst das Leben bedrohende Hitze wohltätig und das Erwachen zu neuem Dasein fördernd. Um Dauersporen der Spaltpilze abzutöten ist ein längeres Erwärmen derselben auf wenigstens 130° nötig. Luftrockene Hefe wird erst bei 115—120° getötet, während lufttrockene Samen höherer Pflanzen oft bereits bei 75° ihre Keimkraft einbüßen: doch können manche der letzteren im vollkommen trockenen Zustande Temperaturen von 100°, ja vorübergehend sogar von 120° ertragen. Auch manche vollständig ausgetrocknete Samen, wie z. B. diejenigen der Melone, kann man wenigstens drei Stunden lang in siedendes Wasser legen, ohne daß sie Schaden nehmen, und ein kleiner Prozentsatz derselben erträgt ebenso lange die Einwirkung von Temperaturen bis zu 125° C.

Die aktiven, wasserreichen Zustände der Pflanzen sind begreiflicherweise meist mit weit geringerer Widerstandskraft gegen die Hitze ausgestattet, als die ruhenden, wasserarmen, Doch ertragen auch hier wiederum die einzelligen Bakterien die höchsten Hitzegrade, so beispielsweise der in vollem Wachstume befindliche Milzbrandbacillus, der sogar nach längerer Einwirkung von 75—80° C. seine infektiösen Eigenschaften nicht einbüßt, während allerdings viele andern vegetativen Bakterienformen bereits durch längere Erhitzung auf 45—50° C. getötet werden. Die vegetativen Zustände der Gefäßkryptogamen gehen nach den übereinstimmenden Versuchen von Sachs und H. de Vries bei einer Temperatur von 50—51° C. schon nach 10 Minuten zugrunde, während die an Wärme gewöhnten einen langen Aufenthalt in einer Temperatur von 35° C. unbeschadet ertragen. Doch wirkt auch auf sie eine Erhöhung derselben auf 40° nach einigen Tagen, eine solche auf 45° schon nach wenigen Stunden tödlich. In manchen Gegenden der Tropen, wie im Pendschab, wo die Lufttemperatur nicht selten bis zu 50° C. steigt, haben die den Sonnenstrahlen ausgesetzten Pflanzenteile eine Erhitzung auf 60 bis 70° zu ertragen, also eine weit beträchtlichere, als in den bisherigen Versuchen beobachtete. So stellte Askenasy bei einer Schattentemperatur von 28° C. eine Erhitzung der Blätter der Alpenhauswurz, Sempervivum alpinum, in der Sonne auf 52° fest. Derartige Temperaturunterschiede zwischen Sonne und Schatten weisen allerdings nur Fettpflanzen auf; denn derselbe Beobachter fand die gleichzeitig von der Sonne beschienenen Blätter von Gentiana cruciata nur auf 35° C. erwärmt.

Digitized by Google

Noch besser als die Hitze ertragen die Organismen im allgemeinen extrem niedrige Temperaturen. Wie Fische und sogar Frösche ungestraft einfrieren und nach monatelangem Scheintod durch Gefrieren ihrer Gewebesäfte beim langsamen Schmelzen des Eises durch intensivere Wirkung der Sonne wieder zu neuem Leben erwachen können, so verweilen Infusorien, Rädertierchen, Gletscherflöhe, manche Käfer, eine Mücke, Chionea araneodes, gewisse scheckige Spinnen, verschiedene Würmer und Schneealgen auf den Firnfeldern unserer Schneegebirge und der Polargegenden monatelang in gefrorenem Zustande ohne zu

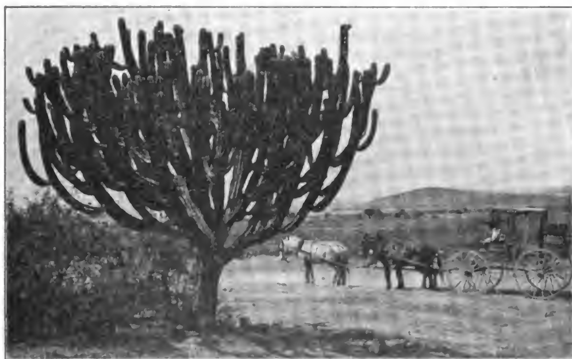


Fig. 15. Baumartig verzweigter Säulenkaktus, Cereus, am Wege von Oaxaca nach Mitla in Mexiko. (Nach Photogramm von O. B. Waite.)

Vermöge ihrer Wasseraufspeicherung im Stamme und der Beseitigung der stark verdunstenden Blätter, die zu Stacheln umgewandelt wurden, während die Oberfläche des Stammes assimiliert, vermag sich diese Pflanzenart in den sterilsten Gegenden, wo sonst nur Dornsträucher vorkommen, zu erhalten.

sterben und nehmen beim Schmelzen des Schnees ihre unterbrochene Lebenstätigkeit ruhig wieder auf, als ob inzwischen nichts mit ihnen geschehen wäre.

Alle diese Wesen verfallen schon bei $+2-3^{\circ}$ C. in Kältestarre und erwachen erst bei höheren Temperaturen zu neuer Lebenstätigkeit. Das Minimum für diese letztere ist natürlich für die verschiedenen Lebewesen sehr verschieden, doch sind die meisten ziemlich anspruchsvoll.

Digitized by Google

So vermag die gemeine Teichhornschnecke, Limnaeus stagnalis, unserer Sümpfe erst, wenn das Wasser auf 12° C. erwärmt ist, Nahrung zu verdauen und zu wachsen. Die Weinbergschnecke verliert ihren Kalkdeckel, welcher sie während ihres Winterschlafes schützte, erst, wenn die Luft auf 10—12° C. erwärmt ist. Während bei uns die Amphibien, Fische und Wirbellosen erst dann in den Winterschlaf verfallen, wenn die Abkühlung des Wassers nahezu den Gefrierpunkt erreicht hat, tritt in warmen Ländern, z. B. auf Kuba, das gleiche schon zwischen 7 und 29° C. ein.

Je wärmer das Klima ist, an das sich ein Tier angepaßt hat, um so höhere Temperaturen sind zu seiner Entwicklung und Fortpflanzung nötig. Während Eier von niederen Krebschen, wie Apus und Branchipus, sich schon bei 0°, wenn auch äußerst langsam entwickeln, geht diese Entwicklung noch bei 30° C., dann aber begreiflicherweise um so schneller vor sich. Bei niederen Temperaturen brauchen Froscheier das 3- und 4fache der Zeit, in der sie sich bei höheren Temperaturen entwickeln.

Wie viele Tiere ertragen auch die in vollem Safte befindlichen Pflanzen kälterer Klimate bedeutende Kältegrade ohne irgendwelchen Schaden zu nehmen. Nach Charpentier entwickelten sich der Alpenklee, Trifolium alpinum, die Erdrose, Geum montanum, und andere Alpenpflanzen, welche vier Jahre von Gletschereis bedeckt waren, nach dem Wegschmelzen des Eises ruhig weiter. Überhaupt sind solche Pflanzen auf sehr bedeutende Abkühlungen eingerichtet, wie z. B. die Krustenflechten, welche auf den höchsten Bergspitzen alle Steine mit bunten Farben überziehen, und die Schneealge, Sphaerella nivalis, deren mikroskopisch kleinen kugeligen Zellen, in denen das Blattgrün durch einen roten, die Licht- in Wärmestrahlen verwandelnden Farbstoff verdeckt ist, sich mit Hilfe der im Schmelzwasser des Schnees sich lösenden Bestandteile des überall hindringenden irdischen Staubes ernähren und sich im Hochgebirge und in den arktischen Gebieten in solchen Mengen vermehren, daß weite Schneeflächen davon rot gefärbt erscheinen. Es war im Jahre 1760, als der Genfer Forscher Horace Benoit de Saussure, der als erster den Mont Blanc bestieg, zum erstenmal die Schneefelder in den Savoieralpen lebhaft rot gefärbt sah und diese Erscheinungen als roten Schnee beschrieb. Einmal darauf aufmerksam gemacht fand man diesen roten Schnee gelegentlich in allen schneebedeckten Regionen der Erde, besonders aber in den zirkumpolaren Gebieten. So sah der englische Kapitän John Roß im

Digitized by Google

Jahre 1818 auf seiner Entdeckungsreise im arktischen Amerika, als er das Kap York auf Grönland umschifft hatte, alle Schneefelder, welche in den Schluchten und Runsen der Uferklippen eingelagert waren, lebhaft rot gefärbt. Dieser Anblick war für ihn so überraschend, daß er diese felsigen Stellen als Crimson cliffs, d. h. Karmoisinklippen bezeichnete. Untersucht man ein solches Schneefeld, das von der „Blume des Schnees" rot gefärbt ist, genauer, so findet man, daß nur die oberflächlichste Schneeschicht, etwa 5 cm tief, rot gefärbt ist und daß sich die merkwürdige Erscheinung besonders an jenen Stellen ausbildet, wo der Schnee unter dem Einflusse der Sonnenwärme zeitweilig schmilzt, insbesondere in den großen und kleinen Mulden und gegen den Rand der Schneefelder hin, wo sich regelmäßig auch der im ersten Bande beschriebene, als Kryokonit bezeichnete eisenhaltige Meteorstaub in Gestalt von schwärzlichen, schmierigen Streifen niederschlägt.

Von dieser einzelligen Alge aus der Gattung der Volvocineen, die die rote Schneeblüte verursacht, lebt der vorhin erwähnte Gletscherfloh, die Desoria glacialis, ein relativ hoch entwickeltes Tier aus der Familie der Springschwänze, das mit den Flöhen nur die Fähigkeit des Springens gemein hat und mit unseren zierlichen Zuckergästen, auch Fischchen genannt, Lepisma saccharina, in die Gruppe der Thysanura oder Borstenschwänze gehört, die den ältesten Stammformen des so überaus vielgestaltigen Kreises der Insekten sehr nahe steht. Diese winzigen Tierchen, die zur möglichst vollständigen Aufnahme der auch ihnen Leben spendenden Sonnenwärme vollkommen schwarz und am ganzen Körper stark behaart sind, hüpfen, sobald der Schnee, auf dem sie leben, auftaut, fröhlich umher, bis sie bei zunehmender Kälte über Nacht und im Winter steif gefrieren und in diesem Zustande Wochen und Monate verharren, bis der Lenz auch ihnen neues Leben spendet.

Die Fähigkeit niedrige Temperaturgrade zu ertragen ist wie bei den verschiedenen Tieren, so auch bei der Pflanzenwelt höchst ungleich entwickelt; ihr kommt vor allem eine hervorragende auslesende Bedeutung zu. Während die bekannte Sinnpflanze, Mimosa pudica, ein lästiges Unkraut der Tropen, schon bei Temperaturen unter + 15° C. selbst auf grobe Berührung nicht mehr durch Schließen und nach unten Klappen der Fiederblätter reagiert und auch nicht mehr wächst, tun es unsere nordischen, an die Kälte gewöhnten Gewächse unter Umständen noch bei 0°. Spuren von Atmung, also von Lebenstätigkeit, konnte man noch bei einer Temperatur von — 10° C. an Flechten-, Fichten- und Wacholderzweigen nachweisen. Merkwürdigerweise reicht die Chloro-

Digitized by Google

phyllassimilation in diesen Pflanzen sogar bis zu — 40° C. hinab und arbeitet selbst noch da, wo der Stoffwechsel im übrigen gänzlich stille steht. Diese Kohlensäureassimilation blattgrünhaltiger Organe ist, wie Beijerinck vor kurzem zeigte, so überaus ausdauernd, daß sie selbst da noch vor sich geht, wo man die Blätter dieser Pflanzen fein zerrieben hat, so daß hier also zerstümmelte Zellen und Bruchstücke der protoplasmatischen Lebenssubstanz in sehr feiner Verteilung am Licht noch nahrungbildend wirksam sind. Ja, selbst luftgetrocknete und nach Zerreiben in Wasser filtrierte Spinatblätter zeigen nach Molisch dieselbe Erscheinung. So ausdauernd ist das Leben selbst in so hoch organisierten Wesen beschaffen.



Fig. 16. Ein Exemplar des Löffelkrautes, Cochlearia fenestrata, von Pittlekaj, das in blühendem Zustande überwintert und nach Schluß des Winters seine Entwicklung fortgesetzt hat, in halber natürl. Größe. (Nach Kjellmann.)

Eine einzige Frostnacht mit 2 bis 4° Kälte genügt, damit die saftreichen Ricinuspflanzen und Georginen in unseren Gärten erfrieren, ohne daß die Zellflüssigkeit in ihnen zu Eis erstarrte, während das gleich den Georginen oder Dahlien zu den Kompositen gehörende weniger anspruchsvolle Maßliebchen unbeschadet der Fortdauer seines Lebens bis — 7 und 8° C. steifgefrieren kann, um trotzdem, von den wärmenden Sonnenstrahlen beschienen, aufzutauen und zu neuem Leben zu erwachen. Manche Alpenpflanzen, wie Gentiana nivalis und Ranunculus glacialis, gefrieren in hellen, kalten Nächten so steif, daß sie beim Anfassen wie Glas zerbrechen, und trotzdem kehren sie, von der Morgensonne langsam erwärmt, zu regsamem Leben zurück, als ob gar nichts besonderes mit ihnen geschehen wäre. Ja, ein Kreuzblütler, das früher den besonderen Ruf genoß, den infolge Mangel an frischem Gemüse bei den Seefahrern entstandenen Skorbut, die Mundfäule, zu heilen, das Löffelkraut, Cochlearia fenestrata, kann mit vollem Laub und angelegten Blüten unbeschadet den grimmigen Winter des hohen Nordens überstehen und im darauffolgenden kurzen Sommer seine Vegetation, zu der ihm der vor der Zeit einfallende rauhe Winter

Digitized by Google

keine Zeit mehr ließ, ruhig zu Ende führen. In Jakutsk und Werchojansk, den berüchtigten Kälteherden Sibiriens, wo im Winter das Quecksilber, das bei —39,5° C. zu einem weißen, silberähnlichen, hämmerbaren Metall erstarrt, in den Thermometern regelmäßig außer Funktion tritt und die Lufttemperatur vielfach bis —63° C. sinkt, ja im Schatten monatelang sich nicht über — 30° C. erhebt, gedeihen außer der Birke und sibirischen Lärche noch ein paar hundert verschiedener Pflanzen. Es kann somit nicht der geringste Zweifel bestehen, daß ihre Rinden- und Holzteile solche Kältegrade ertragen ohne Schaden zu nehmen. Sogar fleischige Hauswurzarten können im Hochgebirge lange Temperaturen von —10° C. ertragen, während in unseren Gärten die ihnen verwandten Echeverien vom ersten Froste leiden und sehr bald zugrunde gehen.

Allerdings ist der Kältetod in sehr vielen Fällen nicht sowohl eine Wirkung der niedrigen Temperatur, als des infolge des gefrorenen Bodens, in dem die Pflanze wurzelt, eintretenden Wassermangels. So sagt z. B. H. Mayr: „Man staunt, welch tiefe Temperaturen eine in Ruhe befindliche Holzart zu ertragen vermag bei genügender Feuchtigkeit der Luft oder verminderter Eigenverdunstung, wie es Waldesschluß, insulares Klima, enge Gebirgs- und Flußtäler mit sich bringen. Dagegen werden die meisten Pflanzen gegen Winterfrost um so empfindlicher, je trockener die Luft ist; neun Zehntel von allen Fällen, die als Frostbeschädigung während des Winters bezeichnet werden, gehören in die Kategorie der Vertrocknungserscheinungen bei durch Frost gehinderter oder doch hochgradig verminderter Wasserbewegung. So lassen sich vielleicht die Widersprüche erklären, daß manche Pflanzen in notorisch kälterem Klima als „hart“ bezeichnet werden, die in notorisch milderem Klima für empfindlich gelten; wahrscheinlich waren die Pflanzen an ersteren Örtlichkeiten in feuchterer Lage oder gegen Verdunstung geschützt, während die empfindlichen Pflanzen des wärmeren Klima gegen Trockenheit und Frost zu kämpfen hatten.“

Noch unendlich viel widerstandsfähiger als die hoch organisierten Pflanzen sind begreiflicherweise die niedrig stehenden Algen und Pilze. So sah Prof. Raoul Pictet in Genf Diatomeen (Kieselalgen) längere Zeit hindurch Temperaturen von —200° C. schadlos ertragen; ja, der englische Forscher Macfayden vermochte Bakterien vermittels verdunstender flüssiger Luft sogar auf — 250° C. abzukühlen, ohne daß sie den geringsten Schaden erlitten.

Bei all diesen sehr hohen und sehr niedrigen Temperaturen kann

Digitized by Google

natürlich die lebende Substanz, das Protoplasma, nicht mehr in Tätigkeit sein. Sie ist zwar nicht tot, sondern nur scheintot, d. h. in einem leblosem Zustande, aus dem sie jederzeit bei Wiedereintritt der gewohnten Lebensbedingungen zur Lebenstätigkeit zurückzukehren vermag. Diesen scheintoten Zustand bezeichnet man nach dem in Berlin verstorbenen Forscher Wilhelm Preyer als Anabiose. In ihr stehen die normalen Lebensvorgänge im Plasma ganz still, nur gewisse, unabhängig vom lebenden Eiweiß und auch außerhalb der betreffenden, sie erzeugenden Zellen wirksame leblose Fermente können dann noch in solchen scheintoten Organismen wirksam sein. Auf Grund ausgedehnter Versuche hat Dr. Victor Grafe in einer Arbeit betitelt: Studien über Atmung und tote Oxydation, Berichte der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften, Wien 1905 zeigen können, „daß die Atmung niedriger Organismen wie Hefe, aber auch von Blättern hochorganisierter Pflanzen, ein scheinbar so einfacher Prozeß sich in außerordentlich komplizierter Weise abspielt, daß er in mehreren deutlich von einander verschiedenen Etappen verläuft und daß verschiedene Ursachen zu demselben Ziele führen, Ursachen, die sich auch scharf durch die außerordentlich verschiedene Widerstandsfähigkeit äußeren Einflüssen gegenüber unterscheiden. Die Zelle verfügt also sozusagen über verschiedene Werkzeuge zur Durchführung einer bestimmten Operation, die alle zusammenwirken, die aber durch ihre verschieden große Widerstandskraft gegen äußere Ungunst diese ihnen anvertraute Operation, wenn auch in geschwächtem Maße, fortsetzen können, wenn eines oder das andere von ihnen zerstört worden ist. Das führt wieder zu einem nicht uninteressanten Einblick in die weitgehende Widerstandsfähigkeit im Ablauf des gesamten Lebensprozesses, welcher eben durch die Zusammenarbeit verschiedener Einzelvorgänge gewährleistet wird. Nun ist die Atmung d. h. die Oxydation, welche im lebendigen Organismus fort und fort stattfindet, wohl der wichtigste Prozeß für die Erhaltung der Lebensfunktionen; denn durch jenen Vorgang wird ja die Spannkraft geliefert, deren Äußerung „Leben" heißt.

Hefe, also ein höchst einfacher, einzelliger pflanzlicher Organismus, wurde im lufttrockenen Zustande zunehmender Erhitzung ausgesetzt und hierauf in einen besonders konstruierten Apparat in Zuckerlösung weiterkultiviert. Nun veratmet d. h. oxydiert dieser Organismus den ihm in der Lösung dargebotenen Zucker, aber er vergärt auch einen Teil des Zuckers. Wohl wird in beiden Prozessen Kohlensäure ausgeschieden, bei der Gärung aber auch gleichzeitig Alkohol

Digitized by Google



Brunnen in der Wüste Gobi, um den nomadisierende Mongolen ihre mit Filzdecken umhüllten Jurten errichtet haben, die ebenso sehr gegen die große Hitze des Sommers als die schneidende Kälte des vielfach sturmdurchtosten Winters schützen. Noch mehr als dieser schroffe Temperaturwechsel ist die große Trockenheit des Sandbodens, durch den die spärlichen atmosphärischen Niederschläge alsbald in die Tiefe sickern, der Vegetation überaus ungünstig, so daß sich nur xerophile Gräser, die sich mit einem Minimum von Feuchtigkeit begnügen, hier am Leben erhalten können. (Nach Photogramm von Dr. Sven Hedin.)

Digitized by Google

Digitized by Google

produziert, dessen Menge in ganz bestimmtem Verhältnis zu der bei der Gärung gebildeten Kohlensäure steht. Was darüber an diesem Gas ausgeschieden wird, fällt auf Rechnnng der Atmung. Die Kohlensäure der Gärung wird ferner entwickelt, indem der Zucker durch die Zymase, jene aus der Zelle isolierbare chemische Substanz, welche die Gärung veranlaßt, in Alkohol und Kohlensäure zerfällt, während für die bei der Atmung abgegebene Kohlensäure eine bestimmte Menge Sauerstoff aufgenommen werden muß, die gemessen werden kann.

Nach Erhitzen der Hefe läuft in der nachfolgenden Zuckerkultur ihre Gärung eine Zeitlang der Atmung parallel, abgesehen von dem Umstand, daß die Atmung nach Erhitzen auf 50° C. eine vorübergehende Steigerung erfährt. Von da aber sinkt die Stärke der Atmung ganz regelmäßig, freilich ganz unmerklich bis zu einer Erhitzung auf 110° C., während die Gärungsintensität bis zu diesem Punkt dieselbe bleibt. Allerdings sinkt nach und nach mit steigender Erhitzung auch das Vermögen des Organismus überhaupt, Lebensarbeit zu leisten. Während er bei normaler Temperatur allen gebotenen Zucker durch Atmung und Gärung verarbeitet, vermag er nach Erhitzen auf 110° nur etwa 29 Prozent zu zerlegen, aber das Verhältnis von Gärungsarbeit und Atmungsarbeit bleibt bis zu diesem Punkte dasselbe. In der Atmung verbraucht er stets etwa 10 Prozent, in der Gärung 90 Prozent des zerlegten Zuckers. Nach 110° erlischt aber das Gärungsvermögen sehr rasch, nach 130° ist es völlig verschwunden. Dafür tritt die Atmung jetzt auffällig in den Vordergrund, indem nun statt der früheren 10 Prozent auf einmal 67 Prozent des überhaupt verarbeiteten Zuckers veratmet werden. Von einem „Leben" des Organismus kann nach einer derartig hohen Erhitzung keine Rede mehr sein, das Protoplasma, die sogenannte „lebende Substanz", kann also nicht mehr wirken, und es hat sich herausgestellt, daß unbelebte chemische Substanzen, Fermente, sog. Oxydasen, die von der lebenden Substanz produziert worden sind, seine Stelle einnehmen, also noch immer wenigstens organische Materien; immerhin muß man eine solche Oxydation als „tote Oxydation" bezeichnen.

Aber auch die Wirksamkeit der Oxydasen nimmt mit fortschreitender Erhitzung der Hefe ab; bei 170° wird die ausgeschiedene Kohlensäuremenge plötzlich auffallend kleiner und es zeigt sich, daß nun unorganische Substanzen, wohl Salze, die Rolle der Fermente in abgeschwächtem Maße fortspielen, bis etwa bei 250° auch ihrer Arbeit ein Ende gesetzt ist. Noch bleibt hier aber eine geringe Aufnahme von Sauerstoff zu

Digitized by Google

verzeichnen, und auch andere Forscher haben schon die durch eben diese Erscheinung gestützte Ansicht ausgesprochen, daß Sauerstoffaufnahme und Kohlensäureabgabe, die doch im Lebensprozeß so innig zusammenhängen, das Werk getrennter Kräfte seien.

Wir haben also daraus gelernt, daß sich in die Arbeit jenes Vorgangs, den wir Atmung nennen, bezüglich seiner einen Seite, der Kohlensäureabgabe, drei Faktoren teilen: Plasma (lebende Substanz), Oxydasen (tote Enzyme) und anorganische „Katalysatoren", deren Widerstandsfähigkeit gegen Erhitzung eine verschieden große ist. Das Plasma wird schon bei verhältnismäßig geringer Temperaturerhöhung arbeitsunfähig, die Atmungsfunktion macht einen Sprung nach abwärts, aber die Oxydase hält sich länger, bis auch sie vernichtet ist und die Oxydation nach einem abermaligen Sturz von unorganischen Substanzen bis zum endgültigen Auflösen jeder Wirksamkeit fortgeführt wird. Auch bei den Organen höherer Pflanzen verhält es sich so. Es liegt nun nahe anzunehmen, daß diese Vorgänge nicht erst einsetzen, wenn das Plasma aufgehört hat zu leben, sondern auch schon während der normalen Atmungstätigkeit wirken, aber sich nicht zu erkennen geben und erst an der Lebensgrenze selbständig hervortreten können. So geht im lebendigen Organismus also vielleicht ein rein mechanischer dem eigentlichen Lebensprozeß parallel als Unterströmung vor sich, der in seiner vollen Wirksamkeit dann einsetzt, wenn sich der Organismus in jenem Zustande befindet, in welchem die normalen „Lebensvorgänge" ganz stillstehen oder auf ein Minimum reduziert sind. Die lebende Zelle vermag offenbar die ihr zu Gebote stehende lebendige Kraft abzustufen, d. h. je nach Bedarf bald ganz oder auch vorläufig nur teilweise auszunützen. Analoge Versuche, in Palladin's Laboratorium in Petersburg durchgeführt, ergaben ganz ähnliche Resultate, auf Grund welcher eine Aufteilung der Arbeit im einzelnen Lebensprozeß auf verschiedene wirksame Faktoren ausgesprochen werden muß. Aus den geschilderten Momenten und dem Ineinandergreifen der verschiedenen Teilvorgänge baut sich eine plausible Erklärung für die Resistenz des Lebens innerhalb gewisser Grenzen auf."

Alle encystierten, d. h. mit einer festen Schutzhülle versehenen Dauereier bei Tieren und Samen bei Pflanzen sind besonders dazu eingerichtet, nicht nur Wochen, sondern Monate und Jahre ungünstigen Lebensbedingungen, besonders durch Eintrocknung des betreffenden flüssigen Mediums, das bis dahin die nötigen Lebensbedingungen gewährte, zu trotzen und dem darin eingeschlossenen Keim bei erneuter

Digitized by Google

Wasserzufuhr die Möglichkeit neuer Lebensentfaltung zu geben. Außer den Eiern können aber auch in der Entwicklung befindliche oder erwachsene Individuen hauptsächlich von niedrig organisierten Tieren, ebenso von Pflanzen austrocknen und sehr lange Zeit ein scheintotes Leben führen, um bei erneuter Wasserzufuhr alsbald zum Leben zurückzukehren und ihre Entwicklung weiter fortzusetzen. So können nicht nur die mancherlei Flechten, die bekanntlich aus zweierlei sonst getrennt für sich lebenden pflanzlichen Elementen, Algen und Pilzen, bestehen, die zu gegenseitigem Nutzen eine als Symbiose bezeichnete Ernährungsgenossenschaft bilden, so gut wie die selbständig lebenden Algen und Pilze, zahlreiche Moose und Bärlappgewächse, sondern auch Infusorien, Rädertiere, Würmer, Flohkrebse und gewisse niedere Insekten, nämlich mit den Milben verwandte mikroskopisch kleine Spinnentiere mit wurmförmigem Körper aus der Ordnung der Tardigraden oder Langsamschreiter (Bärtierchen), die im Wasser, zwischen Moos in feuchter Erde, in Dachrinnen von andern noch winzigeren Tierchen oder Algen leben, beliebig oft durch Eintrocknen in Scheintod verfallen und erwachen nach Wochen und Monaten, ja selbst Jahren des Stillstandes aller ihrer Lebensfunktionen zu neuem Dasein, sobald ihnen die zum Leben nötige Wassermenge zugeführt wird. Das zu den Rundwürmern gehörende Weizenälchen, Anguillula tritici, welches das sogenannte Gichtigwerden oder den Faulbrand des Weizens hervorruft und dadurch dem Landmanne oft unberechenbaren Schaden zufügt, vermochte so bis zu 27 Jahren in Scheintod zu verharren ohne Schaden zu nehmen, Bärtierchen dagegen nur vier und Selaginellen und Bärlapppflänzchen bloß zwei Jahre.

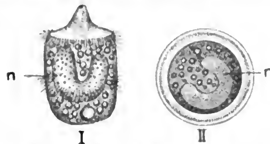


Fig. 17. Ein Infusorium, I in freiem Zustande sich mit zwei Wimperreihen durch das Wasser dahinbewegend, II eingekapselt im Ruhestadium, indem es beim Eintrocknen des Tümpels durch Ausscheidung einer schützenden Hülle ein Minimum von Feuchtigkeit in seinem Körper zurückhält. n der große Kern. (Sehr stark vergrößert.)

Die Mehrzahl der normalerweise gelegentlich Dürreperioden überstehen müssenden kleinen Lebewesen vermag wenigstens zwei bis drei Jahre eingetrocknet im Schlamm zu überdauern, nur ausnahmsweise zwar im erwachsenen Zustande, indem der gefährdete Organismus eine undurchlässige Hülle ausscheidet, welche in sich einen minimalen Feuchtigkeitsvorrat bewahrt und ihn, wenn es trocken wird, mit einer schützenden

Digitized by Google

Kapsel umgibt, meist jedoch in Form von Dauereiern oder Dauersporen, indem die in versiegenden Gewässern gerade vorhandene geschlechtsreife Generation vor ihrem Zugrundegehen noch solche überaus widerstandsfähige Formen von Fortpflanzungskörpern erzeugt. Im eingekapselten Zustande erwarten vornehmlich niedrigste Tiere, wie Aufguß- und Rädertierchen, aber auch Würmer das erlösende Naß, während Dauereier namentlich von den Vertretern der Cyklopiden oder Flohkrebse (Wasserflöhe, Hüpferlinge, Muschelkrebschen) und Dauersporen von den Algen und Pilzen erzeugt werden. Leichtere Kapseln und Keime werden dann oft vom Winde ergriffen und mit dem zerstäubenden ausgetrockneten Schlamm weithin verweht, bis sie schließlich irgendwo ins Wasser gelangen und darin zu neuem Leben erwachen. Deshalb ergrünt jeder stehengelassene Wasserbehälter so schnell von den hineingelangten Algenkeimen und wimmelt bald von der mannigfaltigsten Kleintierwelt. Diese Eigenschaft, daß aller eingetrocknete Schlamm, mag er stehendem oder fließendem, salzigem oder süßem Wasser angehört haben, nach erfolgter Vermischung mit Wasser bald die bunteste Mikrofauna und -flora erstehen läßt, macht sich die Naturforschung in den letzten Jahren immer mehr zu Nutzen, indem sie sich aus den fernsten Ländern solchen beschafft und in sorgsam verschlossenen Aquarien ansetzt. So können selbst nach jahrelangem Trockenliegen jederzeit die mannigfaltigsten Lebewesen in vielfach noch unbekannten Arten bequem zu Hause erzogen und in ihrem Treiben beobachtet werden.

Abgesehen von solchen Tümpelbewohnern sind besonders alle Pflanzensamen infolge ihrer außerordentlichen Wasserarmut zu sehr lange währender Anabiose, d. h. also Scheintod befähigt, und zwar um so länger, je trockener sie aufbewahrt werden. Allerdings ist die heute noch in manchen Lehrbüchern zu findende Behauptung vollkommen falsch, daß der altägyptischen Gräbern entnommene sogenannte Mumienweizen, der drei- und viertausend Jahre in der vollkommensten Trockenheit in allerdings ganz idealer Weise konserviert wurde, ausgesät d. h. mit Wasser in Berührung gebracht wieder aufkeimen könne. Vielmehr wissen wir des bestimmtesten, daß die Samen der meisten Weizenarten schon nach drei Jahren ihre Keimkraft eingebüßt haben. Während die Samen der meisten Weidenarten nur wenige Tage keimfähig bleiben, soll dem Raps- und Rübensamen eine dreijährige, dem Senf- und Hanfsamen eine vierjährige, dem Leinsamen eine siebenjährige, dem Klee- und Grassamen aber eine zwölfjährige Keimdauer zukommen. Unter den von ihm daraufhin untersuchten

Digitized by Google

Samen fand der Genfer Botaniker Alphonse de Candolle nur bei Vertretern von Malvengewächsen und Leguminosen solche, welche ihre Keimkraft über einen Zeitraum von 15 Jahren bewahrt hatten. Doch vermochte nach ihm A. Peter mit Sicherheit festzustellen, daß in der Tiefe des Waldbodens die Samen früherer Acker- und Wiesenpflanzen, die dort ausgereift und vom rasch aufsprossenden Wald in ihrer Entwicklung zurückgehalten worden waren, in einem Falle 22 und in einem andern 46 Jahre in Anabiose ausgeharrt hatten, bis sie durch die infolge Abholzung eingetretene Möglichkeit einer Lebensentfaltung aufgingen. Ja, Robert Brown vermochte Samen einer schönblühenden Lotospflanze, Nelumbium speciosum, sogar nach mehr als 150 Jahren zum Keimen zu bringen. Doch kann man im allgemeinen sagen, daß die meisten Samen, vor allem Eschen-, Birken- und Ulmensamen, ebenso

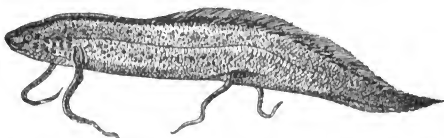


Fig 18. Protopterus annectens, der 1—2 m lange afrikanische Molchfisch.

Eicheln und Buchnüsse durch zu lange dauernde Austrocknung geschädigt werden und verhältnismäßig bald in immer höherem Prozentsatz die Fähigkeit bei Wasserzufuhr zu keimen einbüßen.

Diese von vielen Lebewesen erlangte Fähigkeit, durch Eintrocknen ihre durch die allem eben an das Wasser gebundene Leben feindliche Dürre bedrohte Existenz vor dem Untergange zu retten, ist im Prinzip dieselbe glückliche Gabe, die bei vielen in Gegenden mit schneereichen, kalten Wintern vorgedrungene Tiere bis hinauf zu den warmblütigen Säugern in der Abhaltung eines Winterschlafes gegeben ist. Bei Formen, die in Gebieten mit längerer sommerlicher Dürre sich heimisch gemacht haben, entspricht ihm ein Sommerschlaf, besonders bei Tieren, die im Wasser leben. So gräbt sich in den Llanos (Steppen) des tropischen Südamerika das Krokodil beim Austrocknen der heimischen Tümpel in den noch feuchten Schlamm des Untergrundes ein, wie sich unter demselben Zwange der westafrikanische Molchfisch, Protopterus annectens, sich eng zusammenrollt und mit Hilfe seines eigenen erhärtenden Schleimes in eine rings geschlossene Kapsel einhüllt bis

Digitized by Google

mit dem Eintritte der Regenzeit neue Wassertümpel sich bilden und diesem, wie so manchen andern Tieren, wieder die zum Leben nötigen Bedingungen bieten.

Im Pflanzenreich, bei welchem das Wasser eine nicht weniger unentbehrliche Notwendigkeit zum Leben bildet und zudem noch, im Gegensatz zur Tierwelt, die Fähigkeit der tödlichen Dürre durch Ortsveränderung zu entfliehen durch das Festgewurzeltsein im Boden vollkommen fehlt, sind in der ganzen Organisation der betreffenden Lebewesen möglichst alle Vorkehrungen gegen jenen unerbittlichen, grimmigen Feind getroffen. Wie das Tier, je niedriger organisiert es ist, um so ausschließlicher im Wasser lebt und um so weitgehender aus Wasser besteht, so verhält es sich auch bei der Pflanze, die selbst auf dem Lande lebend ganz mit Wasser durchtränkt ist. Die meisten frischen Pflanzenteile bestehen höchstens etwa zu einem Drittel aus Trockensubstanz, zu zwei Dritteln jedoch aus Betriebswasser, welches beim Austrocknen in Dampfform in die umgebende Luft übergeht. Verhältnismäßig am wenigsten Wasser enthalten ausgereifte Samen, feste, steinharte Samenschalen, Holz und Borke; aber auch für diese wurde immer noch ein mittlerer Gehalt von 10 Prozent an Wasser nachgewiesen. Also ist das Wasser ebenso wie für das Tier, so auch für die Pflanze das weitaus wichtigste Lebenselement, ohne dessen stete reichliche Zufuhr sie meistens rasch zu Grunde geht. Um nun reichlich Wasser und darin gelöste Nährsalze in sich aufnehmen zu können, sendet sie ihr reiches Wurzelwerk in den Erdboden hinab und verankert sich damit zugleich darin, damit die oberirdischen Teile vom Sturme nicht zu Boden geworfen werden. Je größer eine Pflanze wird und je mehr Blätter sie bildet, um so mehr Wasser verdunstet sie und desto mehr ist sie dem Angriffe der Winde ausgesetzt. Dementsprechend bildet sie ihre immer weiter und tiefer ausgreifenden Wurzeln aus, deren Spitzen von der sogenannten W u r z e l h a u b e bedeckt sind. Da die in den Boden getriebene Wurzel überaus zart ist, so daß sie an den scharfkantigen Gesteinstrümmerchen bald verletzt würde, ist sie von diesem kappenartigen Gebilde bedeckt, dessen äußere Zellen, von innen her immer wieder ersetzt, nach und nach gallertig aufquellen und verquetscht werden. Dadurch wird die Wurzelspitze glatt und schlüpfrig, wie geschmiert, und vermag so leicht ohne Schaden zu nehmen in die Tiefe zu dringen. Von der äußersten Zellenschicht der Wurzel werden in einiger Entfernung von der Wurzelspitze schlauchförmige Ausstülpungen getrieben, die als W u r z e l h a a r e bezeichnet werden. Diese

Digitized by Google

verwachsen nun mit den Bodenteilchen, lösen sie auf und nehmen die daraus gewonnenen Nährsalze mit dem Wasser in sich auf. Von den Wurzeln, deren ältere Teile der Wurzelhaare entbehren, sich vielmehr mit einer wasserdichten Korklage umgeben, wird das Wasser mit den darin gelösten Nährsalzen in die Assimilationsorgane, die Blätter, hinaufgepumpt, wo es alsbald verdunstet. Diese beständig vor sich gehende Wasserzufuhr nach den Blättern und die daselbst stattfindende Transpiration sind eine der wichtigsten Vorgänge im Leben der Pflanze. Jede Pflanze kann also als ein lebendes Pumpwerk betrachtet werden, das fortgesetzt ansehnliche Wassermengen dem Boden entzieht und bis zum obersten Wipfel hinauftreibt, was bei den Riesenbäumen, die bis gegen 150 m hoch werden, eine enorme Leistung bedeutet; denn bei dieser Arbeit muß natürlich die Schwerkraft überwunden werden. Schon bei einer Höhe von 100 m, wie sie sehr häufig von den australischen Eucalyptusbäumen erreicht wird, entspricht der Druck des hinaufgepumpten Wassers etwa 50 Atmosphären. Dieser fortwährende Aufstieg von Wasser in jeder Pflanze, das besonders am Tage — dagegen fast nicht bei Nacht, da dann die Assimilation ruht — gegen die verdunstenden Blattflächen strömt, ist nicht etwa eine Wirkung der Capillaranziehung, wie man lange geglaubt hat, sondern der direkte Ausfluß der Lebenstätigkeit der Pflanze; deshalb ist er auch nur im lebenden Holze möglich und geht mit dem Absterben der Pflanze äußerst schnell verloren, obgleich eine Verstopfung der Gefäße dabei nicht erfolgt. Damit dieser Wasserstrom vor sich gehen kann, müssen die lebenden Zellen unausgesetzt arbeiten, um die Flüssigkeitssäulen in beständigem Aufsteigen zu erhalten. Sterben die Zellen ab, so fallen die Wassersäulen alsbald unter der Wirkung der Schwerkraft zurück und die Saugwirkung hat vollkommen aufgehört.

Eine sehr bedeutende Größe erreicht begreiflicherweise diese Menge hinaufgepumpten Wassers bei den Bäumen mit mächtigen Wipfeln, an denen Millionen von Blättern Wasser verdunsten. Dies beweisen auch die Versuche von Höhnels zahlenmäßig, der während dreier Jahre eine Reihe von Bäumen in wasserdicht verschließbaren Töpfen hielt und ihren täglichen Wasserverlust durch Wägungen feststellte. Bei regelmäßigem Begießen verbrauchten in den Wachstumsperioden der drei Jahre je 100 g Blattsubstanz der Esche 85,62 kg, der Birke 81,43, der Rotbuche 74,86, der Hainbuche 72,97, der Ulme 66,17, des Bergahorns 58,59, der Stiel- und Steineiche 54,57, des Spitzahorns 53,06, der Fichte 13,50, der Kiefer 9,42, der Tanne 7,17, der Schwarzkiefer

Digitized by Google

6,73 kg Wasser. Wir ersehen also aus diesen Zahlen, daß, was ja schon die einfache Überlegung klarlegt, die Laubbäume vermöge der viel größeren verdunstenden Oberfläche ihrer Blätter durchschnittlich sehr viel mehr Wasser als die mit kleinen assimilierenden Blättchen in Nadelform versehenen Nadelhölzer verbrauchen.

Je kräftiger eine Pflanze entwickelt ist, um so größer ist natürlich auch ihr Wasserverbrauch. So bedarf eine Sonnenblume von Manneshöhe an einem heißen Sommertage 1 l Wasser, eine 30—40jährige Birke mit etwa 200 000 Blättern braucht an einem freien Standort in derselben Zeit 60—70 l, eine gleichalterige Buche unter denselben Bedingungen aber nur 10 l; eine Buche von 50—60 Jahren dagegen schon 15—20 l, eine solche von 100—120 Jahren gut 50 l. Dementsprechend ist schon der Wasserbedarf eines kleinen Waldes ein sehr bedeutender. Ein Hektar Buchenbestand von 30—40jährigen Bäumen

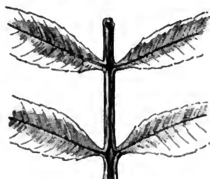


Fig. 18. Rinnenförmige Spindel eines Eschenblattes, von Fraxinus excelsior, zur Leitung und Aufnahme von Wasser bei Regen oder Tau.

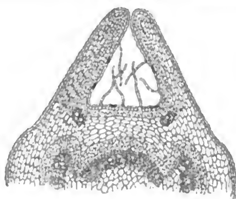


Fig. 19. Durchschnitt durch den in der nebenstehenden Figur dargestellten Blattstiel eines Eschenblattes, um die in der Rinne befindlichen feinen wasseraufsaugenden Haare zu zeigen.

hat täglich rund 5000—6000 l Wasser nötig, ein solcher von 50—60 Jahren 15 000—20 000 l und ein solcher von 100—120 Jahren 25 000—30 000 l, während ein Morgen Weißkraut in derselben Zeit rund 17 000 l, eine ebenso große Hopfenpflanzung sogar annähernd 30 000 l braucht. Um diesem gewaltigen Wasserbedürfnisse zu genügen, ist die Träufelspitze sämtlicher Blätter an der kegelförmigen Baumkrone so gestellt, daß jeder darauf fallende Wassertropfen beim Abwärtsgleiten immer weiter nach außen geleitet wird, bis er in die an der Peripherie gelegene Regentraufzone gelangt ist, in der sich normalerweise die Saugwürzelchen besonders stark ausbreiten, um den Labetrunk aus erster Hand in Empfang zu nehmen. Bei Pflanzen hingegen mit Knollen oder einer Pfahlwurzel

Digitized by Google

stehen die Blätter und Blattränder so nach innen, daß die Blattfläche zu einer förmlichen Rinne geworden ist, in der das Wasser genau nach der Mitte der Pflanze abfließt, also abermals gerade dorthin gelangt, wo es von den Saugwürzelchen der Pflanze am zuverlässigsten erreicht werden kann.

Zur Wasseraufnahme bedient sich aber die Pflanze nicht immer der Wurzeln, sie kann dies auch anderweitig, besonders durch die Laubblätter besorgen, die vielfach zu diesem Zwecke mit haarförmigen Saugzellen versehen sind. Diese haben vielfach ein Köpfchen an der Spitze und werden dann als Köpfchenhaare bezeichnet. Zu diesen Saugzellen wird das Wasser von der Blattoberfläche in Rinnen hingeleitet, um dort aufgenommen zu werden. Auf diese Weise entnehmen nicht nur alle Überpflanzen, die auf Bäumen wachsen, ihren Wasserbedarf, sondern auch viele im Boden wurzelnde, die an trockenen Standorten gedeihen. Zahlreiche Laubblätter sind an ihrer Basis mit Sauggrübchen versehen, deren Zellen eine sehr dünne Außenwand besitzen. Zu ihrem Schutze wird dann vielfach, wie beim immergrünen Steinbrech, Saxifraga Aizoon, ein Schüppchen aus kohlensaurem Kalk ausgeschieden, das als Deckel wirkt, damit nicht durch diese dünnwandigen Zellen das früher bei Regenwetter aufgenommene Wasser während der Zeit der Trockenheit wieder in Dampfform entweiche. Um diese Kalkschuppen festzuhalten, erheben sich einige Oberhautzellen über die andern, wölben sich papillenartig vor und verwachsen gleichsam mit der Kalkschuppe, so daß auch der stärkste Wind sie nicht zu entfernen vermag. Fällt nun Tau oder Regen auf ein solches Blatt, so wird sofort die ganze Oberfläche davon benetzt, das Wasser dringt

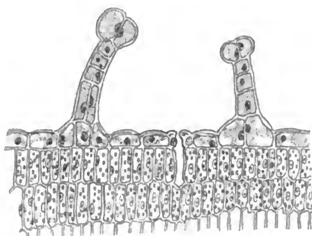


Fig. 20. Köpfchenhaare, zur Aufnahme von Wasser an den Laubblättern von der, der Kornblume verwandten, Centaurea Balsamita. Die Blätter dieser die persischen Hochsteppen bewohnenden Pflanze sind dicht mit solchen Drüsenhaaren überzogen, die nachts energisch den sich darauf niederschlagenden Tau, wie auch allfälligen Regen aufsaugen, an heißen Tagen jedoch durch einen firnisartigen Überzug vor Vertrocknung durch Wasserabgabe geschützt sind. (80fach vergr.)

Digitized by Google

alsbald unter die Kalkschüppchen in die Grübchen ein und wird dort von den Saugzellen aufgenommen. Ist das Wasser aufgenommen, so sinken die emporgehobenen Schüppchen wieder ein und wirken verdunstunghindernd wie Pfropfen auf die Grübchen. In Steppen und Wüsten mit kochsalzhaltigem Boden oder auf dem trockenen Gelände an den Meeresküsten dienen zum gleichen Zwecke ausgeschiedene Salzkrusten. Diese ziehen über Nacht Wasser aus der Luft an und die Salzkrusten verlaufen. Das Wasser wird von der Pflanze aufgenommen, und wenn tagsüber die Sonne darauf scheint, so bilden sich aus der Salzlösung wieder Kristalle, welche neuerdings die Blätter



Fig. 21. Zwei Zähne vom Blattrande des immergrünen Steinbrechs, Saxifraga Aizoon, mit Sauggrübchen zur Wasseraufnahme in der Mitte. Am untern ist die wie ein Deckel vor Verdunstung schützende, die Vertiefung ausfüllende Kruste von kohlensaurem Kalk entfernt, am oberen ist sie belassen worden. (8fach vergr.)

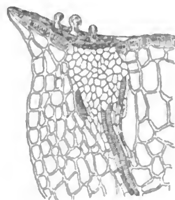


Fig. 22. Durchschnitt durch einen Blattzahn des immergrünen Steinbrechs, Saxifraga Aizoon, und dessen der Wasseraufnahme dienendem Sauggrübchen, von denen ein Gefäßbündel das aufgenommene Wasser nach dem Innern der Pflanze weiterleitet. (60fach vergr.)

als Krusten überziehen, auch die Grübchen mit den dünnwandigen Saugzellen bedecken und nun die Pflanze während der heißen Tagesstunden vor zu weitgehender Verdunstung schützen.

An vielen Pflanzen, welche zeitweise großer Trockenheit ausgesetzt sind, erscheinen die Enden der Zähne des Blattrandes warzenförmig verdickt, dabei etwa glänzend und zeitweilig auch klebrig. Der Glanz und die Klebrigkeit rühren von der Ausscheidung harzig-schleimiger Balsame her, welche von der Pflanze im Frühjahr, wenn sie von Saft strotzt, erzeugt werden. Im Hochsommer trocknet diese Masse zu einem Firnis ein, der die darunter liegenden Zellen vorzüglich gegen Verdunstung schützt. Wird aber diese eingetrocknete Firnisschicht genetzt, so

Digitized by Google

saugt sie sich rasch mit Wasser voll, das sie dann auch den von ihr bedeckten Zellen zuführt. Da sich der Tau vorzüglich an die Zähne der Blätter ansetzt, so ist begreiflich, weshalb sich die Balsam ausscheidende Schicht besonders dort bildet. In manchen Fällen sind nur einige wenige Zähne des Blattrandes zu Saugapparaten umgebildet, und dann finden sich immer besondere Einrichtungen, die den Regen und Tau zu diesen Zähnen hinführen, damit sie von den dort befindlichen Saugzellen aufgenommen werden. Auch hier sind diese dünnwandigen Zellen mit einer von ihnen ausgeschiedenen süßschmeckenden, schleimig-harzigen Schicht bedeckt, welche das Wasser zurückhält und aufsaugen hilft, bei trockenem Wetter aber zu einen Firnis eintrocknet und so ihre Unterlage gegen nachteilige Wasserabgabe schützt. Andere Pflanzen, wozu auch das hier wiedergegebene Silphium gehört, bilden durch Verwachsung zweier gegenüberstehender Blätter trichterförmige, verhältnismäßig große und tiefe Becken, in denen sich das von den Blattflächen ablaufende Regen- oder Tauwasser sammelt und von im Grunde desselben befindlichen Saugzellen aufgenommen wird.

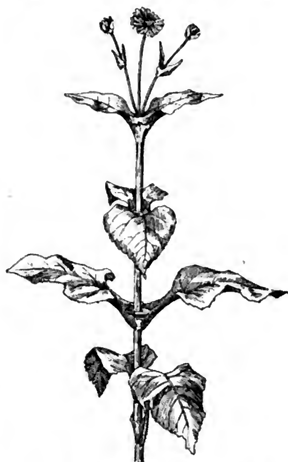


Fig. 23. Natürliche Wasserbecken am Grunde der zusammengewachsenen Blattpaare des die nordamerikanische Steppe bewohnenden Silphium perfoliatum. Neben der Wasseraufnahme durch die auf einen trockenen Standort angewiesene Pflanze dienen sie zugleich zur Abhaltung von unwillkommenen Gästen, wie Ameisen und Raupen.

Auf Bäumen wachsende Überpflanzen endlich, deren es besonders in den Tropen viele gibt, bilden ein Geflecht von zahlreichen Luftwurzeln, die nicht nur alles tropfbar flüssige Wasser, mit dem sie in Berührung kommen, sehr rasch aufsaugen, sondern auch den Wasserdampf der Luft zu kondensieren vermögen. Sie wirken nämlich auf die sie umspülende feuchte Luft wie ein Platinschwamm oder sonst ein poröser Körper. So nehmen die tropischen Orchideen aus einem mit trockener Luft erfüllten Raume in einen solchen mit feuchter Luft ge-

Digitized by Google

bracht innerhalb 24 Stunden 11, 15 und mehr Prozent ihres Gewichtes an Wasser auf und vermögen infolgedessen in ihrer Heimat sogar an sonnigen Plätzen, die sie meist bevorzugen, ohne irgendwie mit Regen oder Tau benetzt zu werden, ihren Bedarf an Wasser aus der Luft zu nehmen und auf der trockenen Borke der Bäume zu gedeihen. Jede dieser Luftwurzeln ist nach außen hin mit einer weißen, papierartigen, sehr porösen Hülle umgeben, welche in feuchter Luft Wasserdampf verdichtet, in trockener dagegen austrocknet, so daß sich die obersten Zellen mit Luft füllen und ihre Funktion als Kondensatoren des Wasserdampfes unterbrechen. Als solche sind sie wieder ein Schutzmittel gegen zu weitgehende Verdunstung der tieferen Schichten der Luftwurzel, nützen also in jedem Falle, mag die umgebende Luft feucht oder trocken sein.

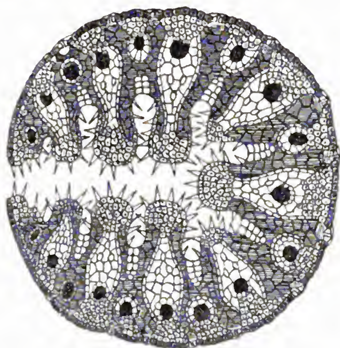


Fig. 24. Blattquerschnitt einer xerophilen Grasart der südarabischen Felsenwüste, Aristida pungens. Das auf der Oberseite stark behaarte Blatt hat sich ganz aufgerollt, um einen windstillen Raum herzustellen, in welchem die Verdunstungsmöglichkeit auf ein Minimum reduziert ist. Nach Tschirch. (60fach vergr.)

Alle Pflanzen, die der Dürre ausgesetzte Ländereien bewohnen, besitzen zum Schutze gegen weitgehenden Wasserverlust ähnlich wie solche lufthaltige Überzüge, wie wir sie an den Luftwurzeln treffen, eine sehr dicke, undurchlässige Oberhaut, kleine, vertikal gestellte Blätter, deren Spaltöffnungen in windstille Räume eingesenkt sind entweder in Form von Grübchen oder Furchen oder von einem Walle umgeben, endlich auch, um die verdunstende Oberfläche möglichst einzuschränken, Rollblätter, die bei ihrer Aufrollung die Spaltöffnungen möglichst fest verschließen. Neben der verdickten, vielfach geschichteten Cuticula besitzen letztere oft wachsartige Ausscheidungen der Zellhaut, die den Blättern statt des tiefen Grüns eine matte bläuliche, graue oder weiße Färbung erteilen, oder von Köpfchenhaaren und anderen drüsenartigen Gebilden ausgeschiedene firnisartige Überzüge der Haut, welche aus einem Ge-

Digitized by Google

menge von Schleim und Harz bestehen; oder die Transpiration wird durch die Ausbildung eines starken Haarkleides als ein die Erwärmung und Verdunstung erheblich einschränkendes Mittel möglichst herabzusetzen gesucht. In anderen Fällen wird dasselbe durch die Ausbildung dicker Blätter mit einem gepanzerten Überzug von lufterfüllten verkieselten Oberhautzellen, oder durch möglichste Verkleinerung der ausdünstenden Oberfläche erreicht. Alle Sukkulenten oder Fettpflanzen bilden dagegen in ihren Blättern gewaltige Wasserspeicher mit einem undurchlässigen Überzug blasenförmig aufgetriebener und zudem noch verkieselter Zellen.



Fig. 25. Die an überaus trockenem Standorte wachsende Colletia cruciata als Typus eines Flachsproßgewächses mit rudimentären Blättern. (Verkleinert.)

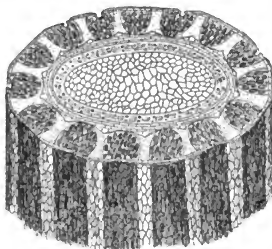


Fig. 26. Querschnitt durch ein Stammstück des Besenstrauches, Spartium scoparium. Das assimilierende grüne Gewebe ist in Streifen, die von Leisten aus Hartbast getrennt sind, um den Stamm angeordnet. Unter dieser Rinde befindet sich das Weichbast, das Cambium, der Holzkörper und ein dickes Mark. (20fach vergrößert.)

Außerdem ist das in einem besonderen Wassergewebe aufgespeicherte Naß mit zähen, gummiartigen und harzigen klebenden Säften oder Salzen, wie Kochsalz, Chlormagnesium und dergleichen durchtränkt, um das Wasser in verhältnismäßig großer Menge möglichst energisch festhalten zu können. Manche, wie die Rutengewächse, beschränken das Laub auf das Alleräußerste, lassen vielfach die Blätter ganz weg und bilden dafür grünes transpirierendes Gewebe in der Rinde der Stengel aus, imprägnieren dazu noch die ganze Oberfläche mit vor Verdunstung schützenden ätherischen Ölen und Harzen. Oft, namentlich bei der Mehrzahl der Gewächse, die das durchschnittlich sehr trockene austra-

Digitized by Google

lische Festland bewohnen, haben die blattähnlichen Sprosse mit ihrer Fläche nicht wagerecht, sondern lotrecht gerichtet, damit wohl die Verdunstung, nicht aber auch gleichzeitig die Durchleuchtung möglichst eingeschränkt werde. So bilden die gewaltigen Eucalypten, welche mit den Akazien, Casuarineen und Proteaceen gesellig vorkommen, die schattenlosen Wälder Neuhollands, indem die Sonnenstrahlen allenthalben ihren Weg zwischen den aufgerichteten Blattflächen finden,



Fig. 27. Zwei Kompaßpflanzen: 1. Die in den Prärien Nordamerikas häufige, zu den Korbblütlern gehörende Staudenpflanze Silphium laciniatum an trockenem Standorte von Osten, 2 dieselbe beinahe von Süden gesehen, 3 der auf trockenem Boden in Mitteleuropa verbreitete wilde Lattich, Lactuca scariola, von Osten, 4 derselbe ebenfalls beinahe von Süden gesehen.

in die Tiefe hinabgleiten und so keinerlei Waldesdunkel entstehen lassen. Indem schließlich nicht nur die Blätter, sondern die ganze Pflanze mit der Kante oder Schmalseite der verdunstenden flächenförmigen Organe in der Richtung des jeweiligen Meridians von Süden nach Norden verläuft, damit sie nur von der Morgen- und Abendsonne beschienen, nicht aber von der Glut des Mittags getroffen werde, entstehen die

Digitized by Google

so merkwürdigen Kompaßpflanzen, deren Bau als an Bewohnern vielfach von Dürre heimgesuchter Länder von höchster Zweckmäßigkeit zeugt.

Bei manchen Pflanzen besitzen die Flächen der Laubblätter die vertikale Lage als spätere Erwerbung noch nicht im jugendlichen Zustande, sondern nehmen sie erst allmählich während ihrer Ausbildung an, d. h. die Flächen sind in der Anlage mit ihren Breitseiten nach oben und unten gekehrt, drehen sich aber dort, wo sie am Stengel aufsitzen, in der Weise, daß später ihre Ränder nach oben und unten sehen. Sehr zahlreiche Pflanzen, sowohl Stauden als Sträucher und Bäume, haben nur im Schatten ihre Blattflächen parallel zum Boden ausgebreitet, während sie an sonnigen, trockenen Plätzen, wo das Wasser spärlich im Boden vorkommt, sich aufrichten und senkrecht stellen, wenn sie dabei auch nicht gerade die Meridianstellung erreichen.

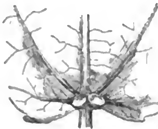


Fig. 28. Basis eines Espenblattes, von Populus tremula (Zitterpappel). Die Rinnen führen zu Saugnäpfchen, die das Wasser aufsaugen. (4fach vergr.)

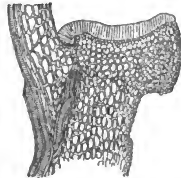


Fig. 29. Durchschnitt durch einen Saugnapf eines Espenblattes mit einem das Wasser zum Gefäßbündel leitenden Gefäße. (30fach vergr.)

Besonders auffallend ist in dieser Beziehung die in Südosteuropa heimische Silberlinde, Tilia argentea, deren Blattflächen an trockenen, heißen Sommertagen eine nahezu vertikale Lage einnehmen, aber nur an jenen Ästen und Zweigen, welche der Sonne ausgesetzt sind. Steht der Baum am Fuße einer Felswand oder am Rande eines geschlossenen Waldes und ist ein Teil desselben beschattet, so bleiben die Blätter an diesem beschatteten Teile horizontal ausgebreitet. Ein solcher Baum bietet dann einen um so fremdartigeren Anblick dar, als die Blätter zweifarbig, oben dunkelgrün und unten von einem Filze von lufterfüllten Sternhaaren weiß sind, und man kann es beim ersten Anblicke kaum glauben, daß die je nach der Besonnung oder Beschattung so verschieden gefärbten Teile des Baumes zusammengehören.

Von anderen Pflanzen wird das Zusammenfalten und Senken

Digitized by Google

der Blätter in der größten Mittagshitze als Schutzmittel gegen zu starke Transpiration und dadurch drohende Vertrocknung angewandt. Hierher gehört auch das periodische Falten oder Schließen der Grasblätter, so daß manche Gräser zu verschiedenen Tageszeiten ganz verschieden aussehen. Während sie am tauigen Morgen ihre langen, schmalen Blätter flach ausbreiten, legen sie dieselben mit dem Höhersteigen der Sonne und der dadurch bedingten Abnahme der Luftfeuchtigkeit der Länge nach zusammen, um sich erst wieder nach Sonnenuntergang auszubreiten. Dieses Spiel kann sich an Sommertagen, wenn sich in der Mittagszeit ein Gewitter einstellt, dem dann ein sonniger Nachmittag folgt, auch zweimal innerhalb 24 Stunden wiederholen. Wie sehr dasselbe von den Feuchtigkeitsverhältnissen der Luft abhängig ist, ergibt sich schon daraus, daß Stöcke solcher Gräser, die in Töpfen kultiviert werden, leicht zum Öffnen und Schließen ihrer Blätter gebracht werden können, wenn man sie abwechselnd mit Wasser bespritzt und in feuchte Luft stellt, und dann wieder auf kurze Zeit trockener Luft aussetzt. Dieser Wechsel wird einfach durch Änderungen im Turgor, d. h. dem Druck des in die Vakuolen eintretenden Zellsaftes auf die Membran gewisser basaler Zellgruppen ausgelöst. Ein dem Öffnen und Schließen der Grasblätter ganz ähnlicher Vorgang wird auch bei verschiedenen Laubmoosen und einigen Bartmoosen beobachtet, deren Blätter sich bei jedem Wechsel der Luftfeuchtigkeit oft innerhalb weniger Minuten, wie beispielsweise beim Widertonmoos, Polytrichum, öffnen und schließen. Bei all diesen Pflanzen mit zusammenklappbaren Blättern als Schutzmittel gegen zu starke Wasserverdunstung sind abgestorbene und vertrocknete Blätter immer geschlossen, und sie öffnen sich nicht wieder, wenn man sie auch längere Zeit feucht hält. Daraus kann man entnehmen, daß der Mechanismus des Öffnens und Schließens ein gewollter aktiver Vorgang der lebenden Pflanze und nicht etwa eine einfache Erscheinung der Hygroskopizität ist, wobei sich die Blätter durch Aufnahme von Wasser von unten her geradestrecken und bei der Verdunstung des Wassers wieder krümmen, wie wir dies beispielsweise bei der abgestorbenen Jerichorose beobachten. Diese Pflanze, Anastatica hierochuntica, trägt zwar ihren Namen aus doppeltem Grunde mit Unrecht. Erstens ist sie keine Rose, sondern ein Kreuzblütler, und zweitens wächst sie nicht bei Jericho, sondern weiter östlich in der Wüste. Wird die bei der Fruchtreife verholzte kleine Staude, deren vorher ausgebreitete Zweige zu einem kugelförmigen Ballen zusammenschlagen, vom Sturmwind entwurzelt und

Digitized by Google



Wüstenlandschaft mit Welwitschia mirabilis am Swakop in Deutsch-Südwestafrika. (Nach Photogramm von A. Schenk aus den Vegetationsbildern von G. Karsten und A. Schenk.)

Digitized by Google

weit über die Ebenen dahingerollt, so stoßen sich dabei die an den Zweigen haftenden nierenförmigen Schötchen ab und werden so über das Land verbreitet. Und das will eben die Pflanze, die nach der Fruchtreife ausgelebt hat und einzig nur noch bestrebt ist, nach ihrem Tode ihre Nachkommenschaft recht weit herum zu verbreiten. Werden bei ihr die toten stark hygroskopischen Zweige mit Wasser befeuchtet,



Fig. 30. Indianer auf dem Hochlande von Mexiko aus einer dort Magney benannten Agave, Agave americana, den zur Fabrikation des Pulque (gespr. Pulk mit langem u) dienenden zuckrigen Saft in einen langgestreckten hohlen Kürbis einsammelnd. Wenn die zu den Amaryllisgewächsen gehörende Pflanze an ihrem Lebensende genug Bildungsmaterial in ihren gleichzeitig als Wasser- und Nährstoffspeicher dienenden Blättern gesammelt hat, was in ihrer Heimat oft schon nach 9 bis 12 Jahren der Fall ist, dann treibt sie aus der Mitte der Blattrosette an einem außerordentlich kräftigen, bis 10 m hohen Schafte viele tausende von gelblichen bis 8 cm langen Blüten. Schickt sich nun eine solche Pflanze an die große Blütenstandsknospe zu treiben, so wird dieselbe ausgeschnitten und die Wunde zu einer schüsselförmigen Mulde vertieft. In dieser sammelt sich nun ein zuckerhaltiger süßer Saft in der Menge von 4—5 l in einem Tage, so daß man von einer Pflanze bis über 1000 l zapfen kann. In ledernen Schläuchen läßt man denselben vergären und erhält dann ein auf Flaschen gezogenes, stark moussierendes Getränk, das in Farbe und Geschmack an Berliner Weißbier erinnert. Es wirkt durstlöschend und erfrischend, aber auch leicht berauschend und wird von den Mexikanern als ihr Nationalgetränk in enormen Mengen vertilgt.

Digitized by Google

so strecken sie sich durch Wasseraufnahme gerade, vertrocknen sie aber wieder, so nehmen sie alsbald wieder die zum Weiterrollen geeignete Form eines kugeligen Ballens an.

Eigentliche Wasserbehälter, die sie vor dem Austrocknen schützen sollen, legen sich manche Pflanzen an unterirdischen Sprossen in dicken fleischigen Niederblättern an, die gleichzeitig zu Ablagen von Reservestoffen ausgebildet sind. Diese als in ihrer Entwicklung gehemmte Laubblätter anzusehenden Aufspeicherungsorgane sind gleichzeitig zum Schutze gegen das Verdunsten mit den Gummiarten nahe verwandtem Pflanzenschleim erfüllt und bergen außerdem allerlei scharfe Öle oder Bitterstoffe in sich, die sie vor dem Gefressenwerden durch darnach lüsterne Tiere schützen sollen.

Auf ganz merkwürdige Weise hat eine als eine Art lebendes Fossil aus längstvergangener Vorzeit in unsere Tage hineinreichende Wüstenpflanze Südwestafrikas das Prinzip der Blattreduktion als Schutzmittel gegen Vertrocknung ausgebildet. Es ist die vom Botaniker Weltwitsch erst im Jahre 1860 bei Mossamedes entdeckte und nach ihm benannte Gnetacee Weltwitschia mirabilis. Diese seltsame Pflanze hat man bisher mit der ganzen Familie der Gnetaceen zu den altertümlichen Gymnospermen oder nacktsamigen Samenpflanzen gestellt, da bei ihr die Samenanlagen nackt auf den Placenten sitzen. Aber sie paßt durchaus nicht dorthin, sie ist vielmehr eine angiosperme Pflanze aus der engeren Verwandtschaft der Santalaceen mit altertümlichen Merkmalen. Schon die hohe Differenzierung des Holzkörpers, wie sie bei den Gymnospermen noch nicht vorkommt, weist ihr diese Stellung im natürlichen Systeme zu. Wie alle Gnetaceen ist sie getrenntgeschlechtig, was also einen bereits höheren Grad der Entwicklung darstellt als das bei den meisten übrigen Pflanzen noch Geltung besitzende Zwittertum, und bildet in den trostlos sterilen Küstengebieten vom Kunene bis in die Gegend des Namalandes in Deutschsüdwestafrika einen plumpen, kreiselförmigen, am oberen Ende vertieften, deutlich zweilappigen, von rötlicher Borke umhüllten holzigen Körper, der bis zu 4 m im Umfang erreicht, dessen 1 m hoher Stamm aber zum größten Teil bis auf etwa 15 cm im tagsüber sonnendurchglühten Sande begraben liegt. Von dem auf der oberen Seite mit strahligen Furchen und konzentrischen Gruben bedeckten Stamme gehen zwei lederartig harte Blätter aus, die einzigen, die die Pflanze während ihres oft mehr als hundertjährigen Lebens erzeugt. Sie sind aber nicht die beiden persistierenden Keimblätter, wie man lange geglaubt

Digitized by Google

hat, sondern echte Blätter, nach deren Erscheinen das vorangegangene Paar Keimblätter abfällt. Diese beiden zähen Blätter haben zuerst eine breite, lineale Form und wachsen am Grunde fort bis sie reichlich 2 m lang geworden sind, werden aber durch die über sie dahinbrausenden Wüstenstürme unregelmäßig der Länge nach zerschlitzt. In dem Maße als sie an ihrer Basis neu erzeugt werden, vertrocknen sie an der Spitze und werden dementsprechend abgestoßen. Die vorhin erwähnten konzentrischen Furchen an der Oberfläche des Stammes sind die Orte, an denen die Blütenstände hervortreten, wie man auch nach deren Verschwinden an den zurückbleibenden Narben erkennen kann. Die weibliche Pflanze bildet bei der Reife schön rot oder gelb gefärbte Zapfen von 5 bis 8 cm Länge, deren Schuppen sich später ablösen und die von der flügelartig verbreiterten Blütenhülle umschlossenen Samen entlassen, die der Wind im tollen Wirbel weiterträgt.



Fig. 31. Welwitschia mirabilis aus Südafrika. (1/20 natürl. Größe.)

Im Gegensatz zu den an das Erleiden von Wassermangel angepaßten Xerophyten stehen die viel seltener vorkommenden Hygrophyten, deren ganze Organisation hauptsächlich auf Förderung der Wasserabgabe gerichtet ist, um die Gefahr der Stagnation des Transpirationsstromes in ihnen zu verhindern. Zu dem Zwecke haben sie schwache Wurzeln, langgestreckte Achsen und große, dünne Laubflächen, um eine möglichste Ausbreitung der transpirierenden Oberfläche zu bewirken. Bei den Hygrophyten der feuchten tropischen Wälder sind nicht nur die dünnen Laubblätter in zweckentsprechender Weise gestaltet, sondern auch noch zum möglichst raschen Ablaufenlassen des Wassers mit einer Träufelspitze versehen, wie wir dies beispielsweise an den lederigen Blättern des Ficus, jener beliebten Zimmerpflanze, sehen.

Digitized by Google

Dabei ist zur Beschleunigung der Transpiration das luftführende Intercellularsystem außerordentlich reich ausgebildet und sind sehr zahlreiche Spaltöffnungen vorhanden, welche nicht wie bei den Xerophyten in windstille Räume eingesenkt sind, sondern ganz oberflächlich, manchmal sogar auf exponierten Kegeln sich befinden, um möglichst frei von Luft umspült zu werden, und aller Schutzmittel gegen die ihnen unbekannte Vertrocknung entbehren.



Fig. 32. Organ zur Ausscheidung flüssigen Wassers, sog. Hydathode, aus dem Laubblatte der hygrophilen tropischen Urwaldpflanze Peperomia exigua (400 fach vergr.) Nach Haberlandt.

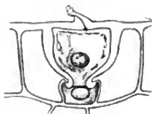


Fig. 33. Hydathode d. h. Organ zur Ausscheidung flüssigen Wassers eines Laubblattes von Gonocaryum pyriforme. (600fach vergr.) Nach Haberlandt.

Für solche Hygrophyten sehr feuchter Klimate ist der Besitz von als Hydathoden bezeichneten Organen zur Ausscheidung von flüssigem Wasser besonders charakteristisch. Ihre Tätigkeit steht bei trockener Luft stille, indem dann genug Wasser verdunstet, geht aber bei gehemmter Verdunstung so energisch vor sich, daß von den betreffenden Blättern namentlich frühmorgens geradezu ein Sprühregen herabträufelt, ohne daß irgend eine Taubildung oder gar Regen in Betracht käme. Von allen möglichen Pflanzen in den ewig feuchten Wäldern der Tropen wird so an besonders dazu eingerichteten Stellen, eben den Hydathoden, das überschüssige Wasser herausgepreßt und erzeugt förmlich einen künstlichen feinen Regen. Ein bekannter solcher „weinender" Baum ist beispielsweise die Caesalpinia pluviosa, die sozusagen beständig Wasser ausscheidet. Diese Wasserabgabe erfolgt aus Epidermisbildungen von bald einfacher bis komplizierter Struktur, wie Haaren, Drüsenzellen (s. Fig. 32 und 33), Wasserspalten usw., teils aus aktiven, den Schweißdrüsen der Tiere vergleichbaren Drüsen, teils auch aus passiven Austrittsstellen, und stellt einen einfachen Filtrationsprozeß dar, und zwar sind die Hydathoden in sehr feuchten Gegenden außerordentlich zahlreich vorhanden. So fand Prof. Haberlandt in Graz auf der Blattoberseite von Gonocaryum pyriforme durchschnittlich 55, an der Unterseite dagegen 58 Hydathoden pro Quadratmillimeter.

Wie wichtig es in solch immerfeuchten tropischen Gegenden für

Digitized by Google

die Pflanzen ist, die überschüssige Feuchtigkeit nicht nur aus dem Innern, sondern auch von der Blattoberseite, sei es durch einen Wachsüberzug mit Träufelspitze nach unten abzuleiten, oder durch eine samtartige, durch Kegelpapillen bedingte Oberfläche, auf welcher sich das Wasser kapillar zu einer äußerst dünnen Schicht ausbreitet, rasch verdunsten zu lassen, zeigt das beifolgende, mit zahlreichen auf der Oberfläche sich ausbreitenden Flechten und andern winzigen Epiphyten bewachsene Blatt. Es sind dies alles zwar nur harmlose Überpflanzen, aber nur ein Schritt weiter und es würden sich, wenn keine besonderen Abwehrvorrichtungen dagegen vorhanden wären, eigentliche Schmarotzer ansiedeln, die sich auf Kosten ihres Wirtes breitmachen und ihn immer weitgehender brandschatzen würden.

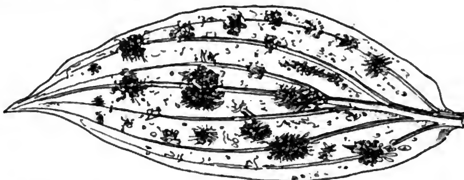


Fig. 33. Blatt von Kibessia azurea, einer im immerfeuchten tropischen Gebiete wachsenden Pflanze, mit zahlreichen epiphyllen, d. h. auf der Blattoberfläche wachsenden Flechten übersät, nach Stahl. (1/5 natürl. Größe.)

Aber nicht nur über die ganze, selbst von der dem Leben feindlichen Dürre heimgesuchte Erde und in die Lufthülle hinein, in die sich beispielsweise die riesige fluggewandte südamerikanische Geierart, der Kondor, nach den Schätzungen von Alexander von Humboldt über 7000 m hoch erhebt, haben sich die verschiedensten Lebewesen, deren Voreltern also der Salzflut des Meeres entstammten, verbreitet; auch in der Richtung auf die dunkle Erdtiefe zu sind andere ihresgleichen kühn vorgedrungen. Überall in den durch Verwitterung gelockerten Boden hinein dringen nicht nur zahlreiche Würmer und Insektenlarven mit dem gefräßigen Maulwurf und den Spitzmäusen, die ihnen stets hungrig nachstellen, sondern vor allem das zahllose Heer der meist winzigen Pilze, die als ständige Bodenbewohner bis in große Tiefen angetroffen werden. Dabei haben wir nicht sowohl die höheren als Eubasidien bezeichneten Hut- oder Schwammpilze im Sinne, die mit ihrem sich verfilzenden und alle organischen Substanzen durchdringenden,

Digitized by Google

aus feinsten quergeteilten Fäden bestehenden Mycelgeflecht nicht nur totes Material, sondern vielfach auch als echte Schmarotzer lebende Pflanzen befallen, sondern die allgegenwärtigen Spaltpilze oder Bakterien, die kleinsten bekannten Lebewesen überhaupt, deren Größe vielfach noch unter die Sichtbarkeitsgrenze unserer mehr als 4000fach vergrößernden Mikroskope fallen.

Die Pilze bilden die einzige Pflanzenfamilie, deren sämtliche Vertreter des Chlorophyllapparates zur Assimilation der Kohlensäure der Luft mit Hilfe der Energie der Sonnenstrahlen vollkommen entbehren, infolgedessen auch nicht wie die übrigen Pflanzen selbständig zu leben vermögen, sondern als Fäulnisbewohner oder Parasiten auf tote oder lebende organische Substanz angewiesen sind. Da sie nicht assimilieren können, bedürfen sie nicht wie alle übrigen grünenden Pflanzen, die echte Sonnenkinder sind und bei Lichtmangel unfehlbar zugrunde gehen, des Sonnenlichtes, fliehen vielmehr vor ihm, um nur die Fruchtkörper mit den Sporen aus der unterirdischen Tiefe, in der sie hausen, hervorzustrecken, damit der Wind, das Wasser oder sich zu einem angebotenen Schmause einfindende Weichtiere, häufiger noch ungeflügelte, meist aber geflügelte Insekten die als Sporen bezeichneten Keime verschleppen.

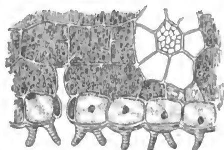


Fig. 34. Ein Ausschnitt aus dem unteren Teile eines Querschnittes durch ein Bambusblatt, um den Schutz der Spaltöffnungen gegen Nässe durch Kutikularzapfen zu zeigen, welche durchaus keine Feuchtigkeit sich ansammeln lassen.

All diese Pilze sind dem Menschen höchst unerwünscht und teilweise gefährliche Gesellen, die sich überall zu Tische laden, wo organische Substanz anzutreffen ist, wo Leben gedeiht oder einst gediehen hat, bis es durch irgendwelche Prozesse dem unerbittlichen Tode verfiel. So bedrohen sie nicht nur die gesamte Lebewelt, in erster Linie die vom Menschen in Pflege genommene und dadurch vielfach krankhaft entartete und verweichlichte Pflanzen- und Tierwelt, wie auch den Menschen selbst, der sich denselben ungünstigen, weil ihn vielfach schädigenden Kultureinflüssen aussetzt, sondern folgen ihm als lästige Begleiter auf allen seinen Wegen, selbst in die sonst dem Leben durchaus feindliche lichtlose Erdtiefe. So sind dem Menschen nicht nur seine von ihm beherbergten und durch seine vielfach unreinliche Lebensweise verschleppten Eingeweidewürmer — es sei hier besonders an den durch sein Blutsaugen an der Darmwandung die Blutarmut der Bergwerksarbeiter erzeugenden Palisaden-

Digitized by Google

wurm, Ankylostomum duodenale, erinnert, der in den letzten Jahren besonders bei den Grubenarbeitern des Ruhrgebietes große Verheerungen anrichtete — und andere Schmarotzer, sondern auch über 40 mycelbildende höhere Pilze, von den niedrigeren Spaltpilzen ganz zu schweigen, in die tiefsten Schächte seiner Bergwerke gefolgt, wo letztere aus den Holzstützen der Stollen ausreichende Nahrung zu allseitiger Ernährung und raschem Wachstume finden. Unter den zahllosen Schädlingen finden sich nur wenige, deren ausnahmsweise nicht zum Schutze gegen unerwünschten Tierfraß mit starken Giften durchsetzte Fruktifikationsorgane, in denen sich die sonst lockere Mycelmasse zu einem festen Körper verdichtet, ihm als willkommene Speise dienen, wie mancherlei oberirdische Hutpilze und Schwämme oder die wegen ihres feinen Geruchs und Geschmacks als besondere Delikatesse geschätzte Trüffel, deren weitverzweigtes, ebenfalls in der Erde wucherndes Mycel wohl stets den Wurzeln holziger Pflanzen aufsitzt, um diese gründlich zu brandschatzen. Die nuß- bis

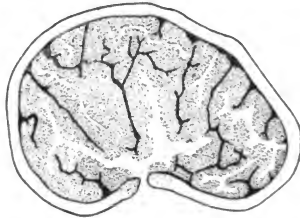


Fig. 35. Fruchtkörper einer Trüffel, Tuber rufum, schwach vergrößert. Unter der Rinde ziehen sich dunkle Adern mit lückenlosem Gewebe dahin, die nach außen in lufthaltiges, askusbildendes Gewebe, Hymenium genannt, übergehen.

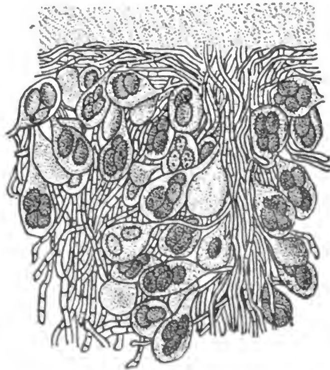


Fig. 36. Partie eines Ascohymeniums der Trüffel. 450mal vergrößert. Das Pilzmycel endet in die Asci oder Fruchtschläuche, in denen je vier mit stacheliger Hülle umgebene Sporen entstehen. (Nach Tulasne.)

Digitized by Google

faustgroßen, unterirdisch liegenden fleischig-knolligen, bei der gesuchtesten Art, der Perigordtrüffel, schwarz, rötlich oder violett gefärbten und mit weißlichen Adern durchzogenen Fruchtkörper sind mit unregelmäßig gewundenen Luftgängen durchsetzt, deren Wände mit den als Asci, d. h. wegen ihrer Gestalt als Schläuche bezeichneten Hymenien (Fruchtkörpern) ausgekleidet sind. Diese beherbergen gewöhnlich je vier bis acht mit einer stacheligen Hülle versehene Sporen, die erst durch die Verwitterung des Fruchtkörpers frei werden, wenn es diesem nicht vorher gelang, durch seinen starken Duft auf ihn aufmerksam gemachte Liebhaber aus der Tierwelt zu veranlassen, ihn auszugraben und dabei die zahllosen in ihm wohlgebetteten Keime weithin auszustreuen.

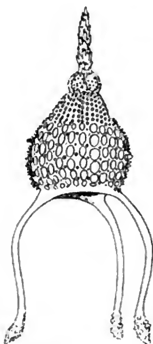


Fig. 37. Skelett eines Helm-Radiolars aus größerer Meerestiefe ohne Weichteile (sehr stark vergrößert). Nach Häckel.

Wie die paar Speisepilze gegenüber den Legionen von seine Kulturpflanzen zugrunde richtenden Schmarotzerpilzen nicht in Betracht kommen, so hat der Mensch, seit die durch Prof. Robert Koch in Berlin vor einem Vierteljahrhundert methodisch begründete Wissenschaft der Bakteriologie ihm die Allgegenwart der winzigen Spaltpilze zum Bewußtsein brachte, vor allem die zahllosen pathogenen, d. h. krankmachenden Bakterien zu fürchten gelernt. Trotz dieser unheilvollen, ihn in seiner Gesundheit und infolgedessen auch in seinem Lebensgenusse stündlich bedrohenden Schar hochgradig übelbeleumdeter Individuen wollen wir hier andererseits daran erinnern, daß die meisten ihrer Artgenossen vollkommen harmlos und einige unter denselben sogar für den Haushalt der Natur und das Gedeihen von Mensch und Tier sehr nützlich sind. Andere haben wiederum eine große Bedeutung für verschiedene menschliche Gewerbe, sind also unsere wertvollen Helfershelfer. Von ihnen soll später in anderem Zusammenhange noch eingehender die Rede sein.

Aber nicht nur überall an der ganzen Erdoberfläche bis tief in den Boden hinein sind unvorstellbar große Scharen der verschiedensten Bakterien an der Zersetzung von organischen Massen und an der Aufschließung der mineralischen Bestandteile des Bodens tätig, dadurch sehr energisch die Verwitterung der Erdoberfläche unterstützend, sondern auch

Digitized by Google

überall, wo salziges oder süßes Wasser sich findet, durchdringen sie dasselbe bis in die größten Tiefen hinab. Allenthalben ist der Tisch für sie gedeckt, wo Teile einst belebter Wesen der Auflösung anheimfallen, und zwar sind sie um so zahlreicher vorhanden, je reicher das tierische Leben entwickelt ist. In der dunkeln Tiefsee, in die kein Sonnenstrahl je hineindringt, fehlen natürlich alle assimilierenden Pflanzen ganz; dafür wimmelt sie aber von genügsamem tierischem Leben der verschiedensten Art, das in letzter Linie, wie die Pilze, von an der Oberfläche im Sonnenlichte bereitetem Pflanzenmateriale lebt. Die meist winzigen herbivoren Tiere leben von dem beständig niederrieselnden Regen abgestorbener und noch nicht von den Bakterien verzehrter Planktonalgen, die in unglaublich zahlreichen Scharen an der Oberfläche des Wassers treiben und dort mit Hilfe ihres Chlorophyllapparates durch Umwandlung der Energie des Sonnenlichtes große Mengen organischer Stoffe aufbauen. Und sie ihrerseits dienen wiederum allen übrigen carnivoren Tiefseetieren zur Nahrung, wie diese selbst nach ihrem Tode noch den verschiedensten von tierischem Abfall und Aas lebenden Organismen nützen; denn nirgends in der ganzen Schöpfung geht auch nur das geringste Atom einst belebter Substanz unbenützt verloren. Alles wird nach dem Tode vollkommen ausgenützt und irgendwie wieder dem Leben dienstbar gemacht, indem der tote Körper in lebendiges Fleisch und Blut umgewandelt wird. Auch hier gilt, daß der Untergang des einen Lebewesens stets einem andern zum Leben verhilft, daß alle Stoffe in stetem Wechsel vom Tode zum Leben und im Lebenden wieder zum Tode kreisen.

Durch ihre Lichtlosigkeit ist die Tiefsee, wie alle unterirdischen wasserdurchströmten Höhlen und Klüfte am Lande die ausschließliche Domäne der Tierwelt, die aber, soweit sie hier dauernden Aufenthalt nahm, nicht unbedeutende Veränderungen erlitt. Vor allem sind in der ewigen Nacht, die hier herrscht, die nunmehr nutzlos gewordenen Augen zurückgebildet und ist die Hautfärbung verändert. Nicht mehr im Bereiche des allbelebenden Sonnenlichtes verkümmert in der Regel der Gesichtssinn vollständig, indem dafür vikariierend der Tastsinn und ihm dienende Organe aller Art um so besser ausgebildet werden, außerdem verliert die Haut meist ihr Pigment. Als bekanntes Beispiel dafür läßt sich außer zahlreichen, weniger bekannten Fischen und Krebsen der Höhlenwässer und der Tiefsee der pigmentfreie und deshalb weiße Olm, Proteus anguineus, der Adelsberger Grotte bei Triest anführen. Bei dieser gezwungenerweise dauernd die Kiemenatmung beibehaltenden

Digitized by Google

und aus Nichtgebrauch beim ausschließlichen Schwimmen nur mit ganz winzigen Beinchen ausgestatteten Molchart sind die winzigen Rudimente der Augen völlig von der farblosen Körperhaut überwachsen. Ihm entspricht einigermaßen der nebenbei abgebildete, in Texas beim Graben eines artesischen Brunnens gefundene unterirdisch lebende Molch Typhlomolge Rathbuni. Der schmutzigweiße Körper endigt in einen nach vorn abgeplatteten Kopf, auf dem die fast ganz von Haut bedeckten, sehunfähigen Augen gleich zwei dunkeln Punkten sich hervorheben. An seinem natürlichen Standorte lebte er unter einem Drucke von sechs Atmosphären, doch vermag er auch direkt an der Oberfläche des Wassers zu existieren. Das gleicherweise lichtfreie Wasser der

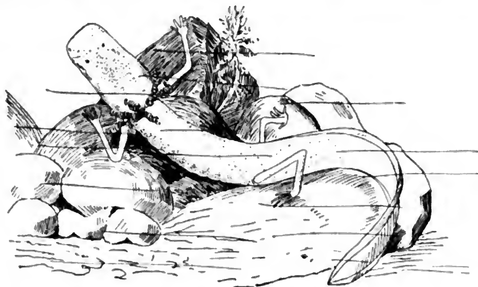


Fig. 38. Der unterirdisch lebende nordamerikanische Molch Typhlomolge Rathbuni.

Mammuthöhle in Kentucky, das eine Welt für sich bildet, die man bisher 18 km weit verfolgen konnte ohne das Ende zu erreichen, durchschwimmt ein ebenfalls gänzlich blindes Fischchen, Amblyopsis spelaeus, dessen Voreltern noch viel länger schon als diejenigen des Olmes in diese stygischen Fluten einwanderten, weshalb bei ihm heute die Augen überhaupt nicht mehr äußerlich, sondern nur in der Anlage unter der Haut wahrnehmbar sind. Ebenso erging es dem in ewiger Finsternis lebenden und jetzt das Licht scheuenden Fischchen, das nach dieser begreiflichen Eigenschaft Lucifuga dentata heißt und in wasserdurchströmten Höhlen der großen Insel Kuba lebt. So haben alle unterirdischen Wasserläufe, auch diejenigen, denen der Mensch nicht beizukommen vermag, ihre besonderen blinden Fische, die gelegentlich, beispielsweise durch das Graben von artesischen Brunnen, auch in der Sahara, oder

Digitized by Google

durch vulkanische Ausbrüche, wie in Peru, zutage treten. So wirft der 5943 m hohe Vulkanriese Cotopaxi in der Cordillere von Quito gelegentlich bei seinem Wüten durch Entleerung unterirdischer Wasserbecken, die mit dem Vulkanschlote in Zusammenhang treten, Tausende von Exemplaren des kleinen blinden Vulkanwels, Stygogenes cyclopum, in seinen verheerenden Schlammströmen aus, die faulend dann die Luft verpesten und sogar Krankheiten erzeugen sollen.

Blind, wie alle in ewiger Finsternis unter der Erde lebenden Geschöpfe, ist auch der südeuropäische Vetter des Maulwurfs, der Blindmull, Talpa coeca, dessen winzige Augen wie beim Olm von einer feinen, nur dicht über dem Augenstern von einem feinen Spalte geschlitzten Haut bedeckt werden, ebenso eine große Zahl von kleinen Tieren, besonders Insekten der verschiedensten Gattungen. So kommt bei uns in der Tiefe der Erde unter großen Steinen der winzige, nur etwa $^1/_3$ cm große Käfer Anillus coecus aus der Familie der Carabiden oder Laufkäfer vor, der von noch kleineren Kerfen und Weichtieren lebt. Seine flache Gestalt und der Mangel der Sehwerkzeuge haben sich im Laufe langer Zeiträume als Folge seiner gänzlich unterirdischen Lebensweise entwickelt. An Stelle der früheren Augen und an anderen Orten finden sich über den ganzen Körper verteilt lange Haare, die als Tastborsten dienen. Ebenso sind seine Fühler stark entwickelt und gleichfalls lang behaart. Wie dieser Carabide sind zahlreiche andere in lichtlosen Höhlen lebende Kerfe vollkommen blind. So der in den gewaltigen Karsthöhlen Istriens auf dünnen, langen Beinen langsam dahinkriechende rötliche Käfer Leptoderus aus der Verwandtschaft unserer Silphiden oder Aaskäfer, der an seinem unterirdischen Wohnorte auch die für ihn vollkommen nutzlos gewordenen Flügel ganz eingebüßt hat. Mit weitausladenden Tastborsten versehen, die bei ihm den durch Nichtgebrauch verloren gegangenen Gesichtssinn ersetzen, weiß er sich trotzdem die zum Leben nötige Nahrung zu erhaschen. Ihm lauert in denselben feuchten Grotten eine gleichfalls erblindete und dafür mit einem höchst feinen Tastsinn ausgestattete Spinne auf, um sich an dem Wehrlosen zu sättigen.

Aber nicht in der Erdtiefe und in den unterirdisch dahinfließenden Strömen süßen Wassers finden wir die absonderlichsten Anpassungsformen an dieses lichtlose Dasein, sondern in der Tiefsee, deren schlimmste Eigenschaft für die ihren Aufenthaltsort in ihr nehmenden Lebewesen nicht sowohl die ist, dunkel und eiskalt zu sein, sondern einen ungeheuren Druck auszuüben. Da das Wasser viel schwerer als die Luft ist, sind

Digitized by Google

auch die am Boden der Hydrosphäre vorkommenden Druckverhältnisse unendlich viel größer als bei uns, die wir am Grunde der Atmosphäre leben. Da der Druck von zehn zu zehn Metern um je eine Atmosphäre zunimmt, so herrscht in den größten Meerestiefen ein ganz unfaßbar hoher Druck. Der verdiente englische Tiefseeforscher Wywille Thomson hat berechnet, daß ein Mensch, der nur etwa 3000 m in das an der tiefsten Stelle, nämlich, wie die neuesten Lotungen im Stillen Ozean ergaben, bei der Insel Guam, 9030 m tiefe Meer herabsänke, hier schon ein Gewicht auf seinem Körper zu tragen hätte, welches dem von 20 mit Eisenschienen beladenen Güterzügen gleichkäme. Unter dieser Wucht würde er so zusammengedrückt werden, „daß er nicht dicker wäre als ein Blatt Postpapier". Man erzählt auch, daß der englische Gelehrte Buchanan eine mit Luft erfüllte, hermetisch verschlossene Glasröhre, welche mit Flanell umwickelt in eine an beiden Enden durchbohrte Kupferhülse gesteckt wurde, in eine Meerestiefe von 4000 m versenkte. Als sie wieder herausgehaspelt wurde, war die Kupferhülle vollkommen eingedrückt und die Glasröhre in feinstes Pulver verwandelt.

Früher hat man aus dieser und anderen ähnlichen Beobachtungen den allerdings sehr voreiligen Schluß ziehen wollen, daß unter einem so ungeheuren Druck kein tierisches Leben mehr bestehen könne, daß also nicht nur die größten Meerestiefen, sondern alle Meere, deren durchschnittliche Tiefe, wie wir ja im ersten Bande gesehen haben, 3500 m beträgt, von Leben entblößt sein müssen. Aber trotz allen Berechnungen und Spekulationen, die darauf hinzielten, der Tiefsee alles Leben abzusprechen, erwies sich das Leben als mächtiger als alle es in enge Schranken zu zwängen versuchende Ungunst der Verhältnisse. Es hat sich nicht nur die mittleren, sondern auch die allergrößten Meerestiefen siegreich erobert, und am Boden, wie in allen darüber liegenden Schichten der tiefsten Ozeane herrscht, wie die neuesten Tiefseeforschungen bewiesen haben, eine überaus mannigfaltige Lebewelt, deren großen Reichtum an Formen wir heute nur schwach zu ahnen vermögen.

Schon frühe, bevor noch die erst wenige Dezennien alte Tiefseeforschung einsetzte, hatten mitunter die Walfänger interessante Beobachtungen gemacht. Manchmal wurde ein arglos an der Meeresoberfläche treibender Wal von der heimtückisch auf ihn mit großer Gewalt geschleuderten Harpune getroffen und suchte, verblüfft von dem ihm plötzlich widerfahrenen Schrecken, außerdem aber auch von Schmerzen gepeinigt, in größerer Wassertiefe sein Heil. Als er wieder zum Vor-

Digitized by Google

schein kam, zeigten sich an den Holzteilen der Harpune merkwürdige Veränderungen. Das Holz war nämlich schon von diesem bißchen in die Tiefe tauchen so hochgradig zusammengepreßt worden, daß es nicht mehr auf dem Wasser schwamm! Korkstücke, die an Netzen oder andern Gegenständen in größere Tiefen versenkt wurden, waren auf die Hälfte ihres ursprünglichen Volumens zusammengepreßt und zeigten die Struktur des soeben erwähnten komprimierten Holzes. Und doch bringen die flinken, mit äußerst kräftigem Ruderschwanze versehenen Wale in solche und noch viel größere Tiefen, ohne unter dem ungeheuren, dort auf ihnen lastenden Wasserdruck Schaden zu nehmen. Ihre Organisation muß also äußerst widerstandsfähig gegen Druckschwankungen sein, ebenso wie der Riesengeier der südamerikanischen Anden, der Kondor, der im allgemeinen nach Brehm einen Höhengürtel zwischen 3000 und 5000 m bevorzugt, sich binnen weniger Minuten von der schwindelnden Höhe von 7000 m in die dichte Luft der Täler hinabfallen lassen kann, ohne Schaden zu nehmen.

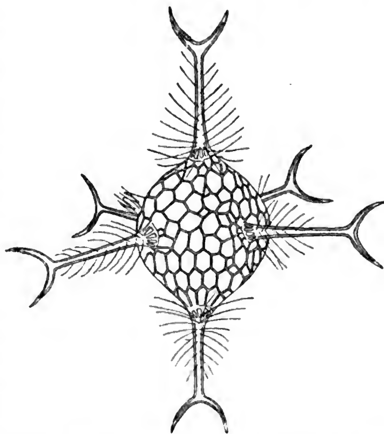


Fig. 39. Schale einer Tiefseeradiolarie aus dem Atlantischen Ozean mit Fortsätzen um sich schwebend zu erhalten und Stöße aufzufangen. (Sehr stark vergrößert.)

Aber nicht alle Fische besitzen ein derartiges gutes Anpassungsvermögen an verschieden dichte Wasserschichten. Besonders fehlt sie allen denen, die ständig in einer bestimmten Tiefe unter einem gewissen Drucke, dem sie allein angepaßt sind, leben. Ein allbekanntes Beispiel dafür ist der höchstens 40 cm lang werdende Kilch oder Kropffelchen des Bodensees, Coregonus hiemalis, der sich stets in Tiefen zwischen 75 und 90 m aufhält und nur gegen Ende September in höhere Schichten

Digitized by Google

kommt, um zu laichen. In einer Tiefe von 80 m haben die Kilche und ihre mit Luft gefüllte Schwimmblase einen Druck von etwa 7,5 Atmosphären auszuhalten. Fängt der Fischer diese Fische mit dem Grundnetz und zieht sie zu seinem Schiff an die Seeoberfläche herauf, so zeigen sie einen äußerst angeschwollenen Bauch, sind, wie man sagt, „trommelsüchtig" — daher auch der Name Kropffelchen —, können sich kaum mehr bewegen und sterben bald ab. Das gewaltsame Heraufziehen in höhere Regionen hat den sonst munteren Wasserbewohnern den jähen Tod gebracht. In ihrem Wohngebiete in der Seetiefe war die Luft in ihrer Schwimmblase zusammengepreßt, mit dem Heraufgezogenwerden an die Seeoberfläche befindet sie sich anstatt unter 7,5 Atmosphären nur unter einer Atmosphäre Druck. Sie dehnt sich also gewaltsam aus und preßt derart auf die Eingeweide des Fisches, daß das Herz zusammengedrückt wird, der Blutkreislauf stockt und unausbleiblich baldiger Tod durch Erstickung eintritt. Man kann jedoch den trommelsüchtigen Fisch „retten" indem man ihn „stupft", wie die Fischer es nennen. Durch den After wird vermittelst eines dünnen, zugespitzten Holzstäbchens die Schwimmblase angestochen, die ausgedehnte Luft entweicht mit pfeifendem Tone daraus, der Bauch schrumpft zusammen, das Herz kann wieder arbeiten, die Blutzirkulation funktioniert weiter und die Kilche schwimmen, nach dieser lebensrettenden Operation in ihr Element zurückversetzt, munter in demselben herum, als ob nichts besonderes mit ihnen geschehen wäre.

Bei Fischen, die in noch bedeutend größeren Wassertiefen wohnen, platzt die Schwimmblase beim Heraufholen des Tieres oft mit vernehmlichem Knall und die in der Bauchhöhle freigewordene Luft preßt die Speiseröhre zum Maule und den Darm zum After heraus. Fürchterlich geschwollen, mit aus ihren Höhlen hervorquellenden Augen und hochgradig gelockerten oder gar schon unterwegs abgefallenen Schuppen gelangen sie, ein kläglicher Anblick, in die Hand des begierig nach ihnen langenden Forschers. Diese Tiere gleichen in ihrer tiefen, kühlen, dunkeln Heimat Flaschen, deren Wasser unter hohem Druck mit Kohlensäure oder einem andern Gase imprägniert ist. So lange das Gas durch den Verschluß unter einem gewissen Drucke gehalten wird, ist das darin enthaltene Wasser klar. Öffnen wir aber die Flasche und heben plötzlich den Druck auf, so wird augenblicklich das Gas frei und entweicht unter stürmischen Erscheinungen aus dem Wasser. Nun sind im Blute und in allen Geweben der Tiere respiratorische Gase gelöst. Wird der Tiefseebewohner mit einem Male an die Oberfläche des

Digitized by Google

Meeres in den Bereich des Menschen gebracht, so entsteht dabei oft eine Druckdifferenz von 500 und mehr Atmosphären. Die Folge davon ist, daß die in seinem Innern aufgelösten Gase stürmisch entweichen und es töten. Die Tiere explodieren förmlich, gerade wie ein zu rasch den unter hohem Drucke befindlichen Caisson verlassender Mensch durch plötzliches Freiwerden von Gasen sofort ohnmächtig wird und rasch den Erstickungstod stirbt, indem sich überall im Bereiche der Blutgefäße Blasen von freigewordenen Blutgasen ausscheiden und den Weiterbestand des Blutkreislaufes verunmöglichen.

Nur ganz langsam haben die an der Küste und an der Wasseroberfläche lebenden Tiere nach und nach im Laufe der erdgeschichtlichen Entwicklung auch die tiefsten Abgründe der Tiefsee bevölkert, indem sie sich Generationen hindurch an den zunehmenden Druck und die Dunkelheit gewöhnten und sich so Verhältnissen anpaßten, die uns ganz unbegreiflich erscheinen. Allerdings fühlen sie ja in der Tiefe den ungeheuren Druck ebensowenig, wie wir Menschen auch unter dem gewaltigen Luftdruck auf der Erdoberfläche von einer Atmosphäre, der uns ja allseitig umgibt, nicht seufzen. Nur die großen Druckschwankungen, denen sie sich freiwillig auch niemals aussetzen, werden ihnen verderblich.

Um die Wirkung langsam gesteigerten Druckes auf verschiedene Tiere zu studieren, hat man zum Experiment gegriffen. Bei einem Druck von 600 Atmosphären, der etwa einer Tiefe von 6200 m entspricht, verfielen Infusorien und Weichtiere in einen apathischen Zustand der Starre, der sie gleichsam leblos erscheinen ließ. Hob man ebenso langsam wieder diesen Druck auf, so erholten sie sich wieder. Fische, denen die Schwimmblase fehlte, oder luftleer gemacht war, lebten noch ziemlich munter bei 100 Atmosphären Druck, erst bei 200 Atmosphären wurden sie starr, erholten sich aber gleichfalls bei langsamem Nachlassen des Druckes. Erst bei 300 Atmosphären Druck starben sie rasch ab. Noch widerstandsfähiger gegen hohen Druck sind niedriger organisierte Tiere, so besonders kleine Kruster, die oft erst bei 600 Atmosphären starr wurden und eingingen.

Obschon es wenig genug ist, was wir vom Tierleben der Tiefsee wissen, so müssen wir bei diesem Wenigen schon staunen über die wunderbare Mannigfaltigkeit von Gestalten, in denen sich das Leben unter so ungünstigen, für uns geradezu unbegreiflichen Umständen äußert. Von allen niederen wirbellosen Tierstämmen rückten nach und nach Vertreter in die unwirtlichen dunkeln Tiefen des Meeres vor, um

Digitized by Google

da vielfach die absonderlichsten Veränderungen zu erleiden. Viele Formen erblindeten dort und entwickelten dafür lange, sehr empfindliche Fühlfäden, indem bei ihnen, wie bei den Höhlentieren, der Tastsinn an Stelle des Gesichtsinns trat. So haben beispielsweise der Tiefseekrebs Thaumastocheles, wie auch der blaßrote Pentacheles und andere ihre Augen ganz eingebüßt, dafür aber ist ihre ganze Körperoberfläche mit einem feinen Pelz von Tasthaaren überzogen und sind ihre Fühler und Beine weit ausladend gestellt. Bei manchen blinden Arten sind die Augen wohl noch vorhanden, aber stark zurückgebildet, was sich in einer bedeutenden Pigmentarmut und in einer degenerativen Umformung der Netzhaut äußert. Dabei sind diese funktionslosen Augen

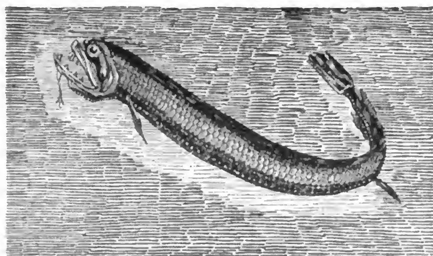


Fig. 40. Der Leuchtfisch Stomias boa aus 1900 m Tiefe. (1/4 natürl. Größe.) (Nach Filhol.)

oftmals äußerlich wohl erhalten, innerlich jedoch bloß mit Bindegewebe ausgefüllt, wie bei der Gattung Munidopsis. Andere haben dafür ungewöhnlich große Augen, die nicht selten purpurrot glühen, wie beispielsweise bei den Nephropsarten und manchen Schizopoden, die als arge Räuber in großen Schwärmen in 1000 bis 2000 m Tiefe leben.

Daß es in der in ewigem Dunkel ruhenden Tiefsee nicht nur bei Krebsen, sondern bei allen sie bewohnenden Tiergattungen neben den blinden Arten solche mit großen Augen gibt, kommt daher, daß ein großer Teil der Tiefseetiere die Finsternis der Wassertiefen durch Erstrahlenlassen von eigenem Licht erhellt. Zahllose Tiefseetiere sind mit den wunderbarsten Leuchtapparaten ausgestattet, die nach Belieben Licht aussenden und wieder erlöschen lassen, und zwar Licht in allen Farben, bald weißes, bald gelbes, grünes, rotes oder bläuliches. Da-

mit belichten die Tiere ihre Bahn, ähnlich wie die Lokomotive ihren Schienenweg mit den verschiedenen an ihr befestigten Laternen, und suchen damit Beute zu machen. Manche unter ihnen sind mit ganzen Reihen leuchtender Flecke versehen; lassen sie diese erstrahlen, so schwimmen sie in einer förmlichen Aureole dahin. So der mit einem gewaltigen Rachen und großen Zähnen versehene langgestreckte Leuchtfisch Stomias, dessen untere Seiten mit zwei Reihen leuchtender Flecke eingefaßt sind. Bei zwei anderen Stomiatiden, Malacosteus und Astronesthes, ist auch das Gesicht zu beiden Seiten des von langen Zähnen starrenden Rachens mit vier großen Leuchtkörpern besetzt, die bei ersterem zweifärbig grün und rot leuchten.

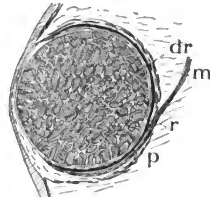


Fig. 41. Leuchtorgan eines Tiefseefisches, nach links geöffnet. Die Licht erzeugenden Drüsenzellen dr sind von einer dünnen Lage schmaler, dicht aneinander schließender Zellen umschlossen, die in ihrer Gesamtheit einen Reflektor r bilden. Diese ihrerseits sind von einem Pigmentmantel p umgeben und das Ganze wird nach Belieben vom Muskel m bewegt. (Stark vergrößert.)

Andere besitzen nur wenige solcher. So hat der Fisch Melanocoetus niger nur zwei Leuchtflecke unter den Augen, von denen der obere ein gelbes, der untere dagegen ein grünliches Licht aussendet, während der nahe Verwandte Melanocoetus Krechi bloß einen Leuchtkörper an einem langen Stiele besitzt, den er nach Belieben hebt und senkt, um so seine Beutetiere herbeizulocken. Eine andere Art, Linophryne lucifer, hat ein Leuchtorgan auf ihrer Schnauze, um einen vom Unterkiefer ausgehenden Angelfaden zu beleuchten und vorwitzig sich demselben nähernde Tiere zu erbeuten. Der

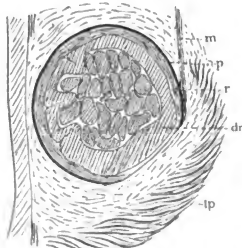


Fig. 42. Leuchtorgan eines Tiefseefisches, durch Verkürzung des es bewegenden Muskels m so gedreht, daß die Öffnung (unten rechts) nach dem Körperinnern gerichtet ist, wo auch die letzten Spuren des Lichtes durch mehrere Lagen dunklen Pigmentes abgeblendet werden, so daß es völlig erlischt. dr Drüsenzellen, r Reflektor, p Pigmentkapsel, lp Pigmentplatten. (Stark vergrößert.)

Digitized by Google

samtschwarze, mit roten Flossenstrahlen geschmückte Eustomias obscurus dagegen vermag direkt mittelst leuchtender Bartenfäden seine Opfer zu angeln.

Eine ganz wunderbare Fülle von höchst ingeniösen Einrichtungen dient dem Zwecke des Leuchtens bei all diesen Leuchttieren der Tiefsee, von denen wir allerdings vorläufig nur verhältnismäßig ganz wenige kennen. Die hier beigegebenen Abbildungen erläutern die Einrichtung einiger derselben. In allen sind wohl die Leuchtorgane aus umgewandelten Muskelbündeln entstanden, in denen durch eine dem Willen unterstellte Oxydation von Eiweißabkömmlingen ein oft sehr intensives kaltes Licht von sehr verschiedenen Wellenlängen erzeugt wird. Um das Licht möglichst energisch nach außen erstrahlen zu lassen, sind eigentliche Reflektoren hinter den lebendigen Lampen aufgestellt und Pigmentschichten überall da ausgebildet, wohin das so erzeugte Licht nicht gelangen soll. Und da, wo scheinbar die Augen selbst Licht aussenden, wie bei den vorhin angeführten Nephropsarten und verschiedenen Schizopoden, ist der nach außen abgeblendete Leuchtapparat so aufgestellt, daß die Fülle des von ihm erzeugten Lichtes zuerst in die Augen und von da erst in das zu erleuchtende Dunkel der Umwelt dringt.

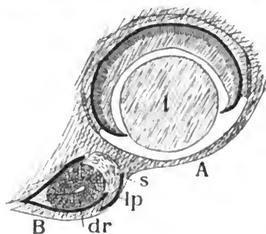


Fig. 43. Auge A eines Tiefseefisches mit Linse l und daneben liegendem, nach dem Auge geöffnetem Leuchtorgane B. Das Entweichen des Lichtes nach außen ist noch speziell durch eine Pigmentplatte lp verhindert; dr Leuchtdrüse, s Sammellinse. (Stark vergrößert.)

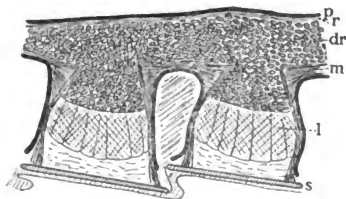


Fig. 44. Zwei nebeneinander liegende Leuchtorgane mit Linsen l aus der Seite eines Tiefseefisches; s durchsichtige Schuppe, übrige Bezeichnungen wie bei den vorigen. (Stark vergrößert.)

Digitized by Google

Alle Tiere mit solchen Leuchtorganen sind natürlich niemals blind, sondern haben im Gegenteil recht große Augen, wie die oberirdisch lebenden Nachttiere, damit sie auch den spärlichsten Lichtschein mit ihren Sehwerkzeugen möglichst ausgiebig zu erhaschen vermögen. Andere besitzen weit vorstehende sogenannte Teleskopaugen, in denen die große Linse weit vorgeschoben ist und anderweitige Veränderungen im Auge in der Weise getroffen sind, daß von dem geringen, von den leuchtenden Organismen erzeugten Lichte möglichst viel von den Augen aufgenommen und diese mit Leichtigkeit nach allen Richtungen, wo Licht herkommen könnte, gedreht werden können. Dieses Leuchtvermögen der Tiefseetiere dürfte außer als Anlockungsmittel Beutetieren gegenüber auch für das Zusammenfinden der Geschlechter von Bedeutung sein.

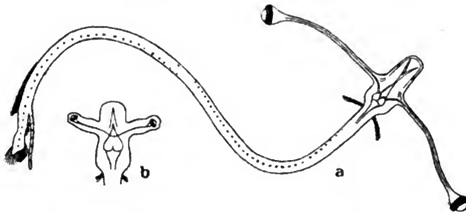


Fig. 45. a Tiefseefisch von schmaler Gestalt mit beweglichen, langgestielten, großen Augen. b Jugendstadium desselben mit noch kurz gestielten Augen. Es ist also diese Verlängerung des Augenstieles erst nachträglich von diesem Tiere erworben worden.

Um sich vor diesen lichterzeugenden Arten verbergen zu können, sind die meisten Tiefseetiere nicht pigmentlos weiß, sondern vielmehr pigmentreich dunkelbraun bis schwarz gefärbt, selten sind bläuliche oder rote Nüancen ausgebildet, die wohl Komplementärfarben zu gewissen Lichtstrahlen sind, für die sich die betreffenden Tiere möglichst unkenntlich machen möchten. Manche mögen diese grellen Farben vielleicht als Trutzfarben tragen, um sich ihren Angreifern als ungenießbar anzukündigen und so dafür zu sorgen, daß sie nicht ihrerseits von ihnen gefressen werden.

Eine ziemliche Anzahl der Tiefseetiere, deren im Bereiche der Küste verbliebene oder auf die Hochsee ausgewanderte Verwandte ihre Eier und Jugendstadien als pelagisches Plankton an der Meeresoberfläche schwimmen lassen, haben, da ihnen solches wegen der meist un-

Digitized by Google



Fig. 46. Zwei verschieden ausgebildete Planktonalgen der Hochsee, Peridineen der Gattung Ceratium. 1. Warmwasserform mit sehr langen Balanzierstangen. 2. Kaltwasserform mit kurzen Balanzierstangen. (175fach vergr.) Nach F. Schütt.

geheuren Entfernung an den Meeresspiegel unmöglich war, eine besondere Brutpflege eingerichtet, auf die einzugehen uns allerdings zu weit führen würde. Andere haben sich sonstwie den neuen Lebensbedingungen, in die sie gerieten, aufs zweckmäßigste angepaßt und sind in dem nach unseren Begriffen wenig einladenden Lebenselemente der Tiefsee vollkommen heimisch geworden, als ob es keine wirtlicheren Gebiete der Biosphäre unseres Planeten gäbe.

Nicht weniger eigentümlich als die Tierwelt der Tiefsee ist diejenige, die in bedeutendem Abstand vom Lande auf offenem Meere in der Nähe der Oberfläche oder tiefer im Wasser schwimmend lebt. Diese pelagische Fauna, der sich auch eine reiche Flora von fast ausschließlich Einzellern hinzugesellt, bezeichnen wir in ihrer Gesamtheit als Plankton, d. h. das Schwimmende, und zwar je nachdem es schwebende Pflanzen oder Tiere sind, als Phyto- und Zooplankton. Dabei unterscheiden wir noch ein periodisches Plankton, dem Meroplankton Häckels entsprechend, z. B. die Jugendstadien von Tieren, die später festsitzend leben, vom perennierenden Plankton, dem Holoplankton Häckels, das allerdings weitaus die Regel bildet. Im Gegensatz zur Schwebefauna wird die aktiv schwimmende und den Ort nach Belieben wechselnde Fauna wie die Fische als Nekton bezeichnet.

Die pelagische Lebensweise hat allen Organismen, die sich ihr zuwandten, ebenfalls gewisse gemeinsame Züge aufgedrückt. Wie alle Schwebealgen, so haben alle kleinen Schwebetierchen, um sich leichter vor dem Hinabsinken zu schützen, ihre Oberfläche möglichst vergrößert, und zwar um so mehr, je wärmer und salz-

Digitized by Google

ärmer das Wasser, je geringer also sein spezifisches Gewicht ist. So haben besonders die Tropenmeere die bizarrsten, vielfach auch durch Ausbildung von Öltropfen einen Auftrieb zum leichteren Schwimmenkönnen bewirkenden Formen mit den mannigfaltigsten Stacheln, Leisten, Hörnern, Flügeln und Kämmen ausgebildet; unter dem Zooplankton finden wir besonders bei Krustaceen und deren Larven, aber auch bei jungen Fischen eine Oberflächenvergrößerung durch Ausbildung von Stacheln, durch Abflachung des Körpers oder durch Verlängerung der Gliedmaßen. Andere Tiere nehmen, um sich mit größtmöglicher Leichtigkeit in der Schwebe erhalten zu können, bedeutende Wassermengen in ihre Gewebe auf, so daß ihr spezifisches Gewicht nur wenig größer als dasjenige des Wassers wird. Solche Tiere erhalten ein vollkommen gallertartiges Aussehen und sind durchsichtig wie Glas. Dies ist besonders bei den Quallen, den Ruderschnecken und den Kielfüßlern — letztere sind wasserklare, großäugige, statt der hinterkiemigen Ruderschnecken vorderkiemige Schwimmschnecken, die sich mit einem großen zusammengedrückten Fuß im Wasser fortbewegen — und der pelagisch gewordenen Abteilung der Manteltiere, die wir als Salpen bezeichnen, der Fall.

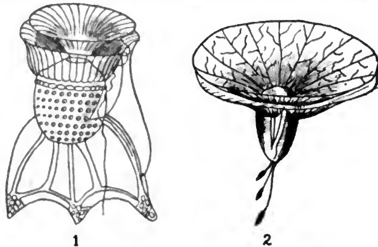


Fig. 47. Zwei Planktonalgen des Meeres (Peridineen) mit stark ausgebildeten Schwebevorrichtungen. 1 Ornithocercus magnificus mit Flügelleisten und Schwimmtrichtern. 2 Ornithocercus splendidus mit doppeltem Fallschirm. (150fach vergr.) Nach F. Schütt.

Sowohl bei den durch Oberflächenvergrößerung, als durch Wasseraufnahme in die Gewebe des Körpers das Untersinken erschwerenden Tieren findet man die der Bewegung dienende Muskulatur gleichzeitig zurückgebildet; zuweilen geht diese Rückbildung so weit, daß die betreffenden Tiere ungemein muskelarm werden und nur einer sehr beschränkten aktiven Bewegung fähig sind. In andern Fällen sind sie trotz der bedeutend schwächeren Muskulatur dennoch gute Schwimmer, indem der Körper sich fast ohne Muskelanstrengung im Wasser schwebend erhält. Dabei sind die pelagischen Tiere zu ihrem Schutze, um weniger

leicht von ihren Feinden erkannt und erhascht zu werden, neben der Durchsichtigkeit vielfach blau gefärbt wie das sie ganz durchtränkende salzige Medium, in welchem sie leben. Manche pelagische Tiere besitzen ausgebildetere Augen als die Mehrzahl ihrer Verwandten, so z. B. die pelagischen Borstenwürmer; andere dagegen haben im Gegenteil zurückgebildete Sehorgane. Letzteres erklärt sich ganz einfach daraus, daß ein großer Teil der pelagischen Fauna sehr lichtscheu ist, sich tagsüber in tieferen Wasserschichten aufhält, und zwar um so tiefer, je heller die Sonne scheint, und nur des Nachts an der Oberfläche des Meeres erscheint.

Entsprechend dem pelagischen Plankton der Hochsee finden wir auch als sekundäre Anpassung eine schwimmende Organismenwelt der Süßwasserseen, die man als Limnoplankton bezeichnet. Sie hat ein ganz ähnliches Gepräge, wie diejenige des Meeres, durch Oberflächenvergrößerung, besonders Ausbildung von Stacheln, um den Reibungswiderstand zu erhöhen und sich so vor dem Hinabsinken, das ja im Süßwasser noch viel leichter als im Salzwasser eintritt, zu bewahren. Auch bei ihr sind wasserklare, durchsichtige Formen sehr verbreitet. So sehen wir, wie überall dieselben Lebensbedingungen bei den verschiedenartigsten Lebewesen dieselben Anpassungen erzeugen.

Digitized by Google

III.

Die Erscheinungen des Lebens.

Alle lebendige Substanz ist in beständigem Flusse, indem sie sich an einem fort durch den Lebensprozeß zersetzt und entsprechend neubildet. In dem Maße als die Zerfallsprodukte ausgeschieden werden und die Zellen verlassen, wird mit der Nahrung fortwährend neues Bildungsmaterial zum Ersatze des Verbrauchten eingeführt. Dieser Stoffwechsel ist die Grunderscheinung alles Lebens überhaupt.

Die Aufnahme von neuem Bildungsstoffe in die Zellen bezeichnet man als Assimilation, die Zersetzung und den Verbrauch derselben dagegen als Dissimilation. Beide Vorgänge bedingen und ergänzen einander. Sind sie gleich groß, so besteht Stoffwechselgleichgewicht. Ist aber die Aufnahme größer als die Abgabe, so tritt Stoffansatz ein, den wir als Wachstum bezeichnen. Geht das Wachstum über das individuelle Maß hinaus, so nennen wir es Fortpflanzung, geht es zurück und hört das Wechselspiel zwischen Aufbau und Zerfall der Plasmamolekeln ganz auf, so ist das eingetreten, was wir Tod nennen.

Der Lebensprozeß ist also durchaus an eine stetige Ernährung gebunden, und diese bedeutet eine Energiezufuhr. Alle Energie aber, die dem Leben zu seinem Unterhalte dient, stammt in letzter Linie von der Sonne und ist umgewandelte Sonnenenergie. Deshalb kann man als Grundtatsache der Lehre vom Leben den Satz aufstellen, daß alle Lebewesen nicht nur im bildlichen Sinne, sondern in des Wortes vollster Bedeutung „Kinder der Sonne“ sind. Wie das mächtige Zentralgestirn, die allwaltende Herrin unseres ganzen Planetensystems durch die Energie ihrer Strahlung das Wasser verdunsten, sich in der Höhe zu Wolken verdichten

Digitized by Google

und diese bei einer gewissen Abkühlung als belebenden Regen auf das dürre Erdreich niederfallen läßt, die strömende Bewegung der Bäche und Flüsse bedingt, den Wind und alle Bewegungen an der Oberfläche unseres Planeten überhaupt erzeugt, so ermöglicht und unterhält sie einzig das Leben, und zwar mit Hilfe der Pflanzen, die die besondere Fähigkeit ausgebildet haben, nicht nur für den eigenen Bedarf, sondern darüber hinaus diese von der Sonne ausstrahlende Energie aufzuspeichern. In den kleinen chemischen Laboratorien der Chloroplasten wird mit Hilfe des Chlorophylls oder Blattgrüns die kinetische Energie der Sonnenstrahlen in latente chemische Energie

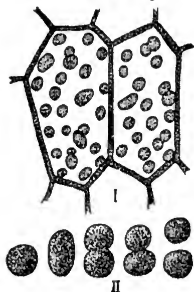


Fig. 48. I Zwei Zellen aus einem Moosblatt, in welche ausschließlich die Chlorophyllkörper eingezeichnet wurden. II Aufeinanderfolgende Teilungsstadien eines scheibenförmigen Chlorophyllkörpers; denn auch diese werden in den Pflanzenzellen nicht neu gebildet, sondern stammen alle durch Teilung von dem Chloroplasten ab, der dem Ei vom mütterlichen Organismus mitgegeben wurde. Im Keim sind sie noch farblos und ergrünen erst am Lichte dem Lichte entzogen erbleichen sie wiederum, werden gelb, was man gemeinhin als Etiolieren oder Vergilben bezeichnet. (Sehr stark vergr.) Nach Giesenhagen.

umgewandelt. Was uns als Zucker, Stärkemehl, Fett und Eiweiß entgegentritt, sind nur solche Formen von der Pflanzenzelle aufgespeicherter chemischer Energie, also umgewandelter Sonnenenergie.

Die Pflanze läßt die Energie der Sonnenstrahlen für sich arbeiten, um in der aus der Luft aufgenommenen Kohlensäure, die die vulkanischen Exhalationen stetsfort spenden, den Kohlenstoff vom Sauerstoffe zu trennen. Diese Trennungsarbeit, ein Vorgang, den man in der Chemie als Reduktionsprozeß bezeichnet, erheischt einen großen Kraftverbrauch, und diese Kraft liefert die Sonne an einem fort umsonst. Die Pflanze braucht sie nur zu benützen. Und das tut sie auch in ihren winzigen Laboratorien, den Chloroplasten, deren jede assimilierende Pflanzenzelle in Mehrzahl besitzt. Dort wird das Kohlensäuremolekel trotz allem Widerstreben gespalten. Den Kohlenstoff behält die Pflanze für sich, um es zum Lebensprozesse und zum Aufbau ihres Leibes zu verwenden, den Sauerstoff aber entläßt sie in die umgebende Luft, damit sie und die Tiere diesen Lebensstoff zur Atmung

Digitized by Google

zur Verfügung haben und ihn bei dem Lebensprozesse, den wir im ersten Abschnitte als einen Verbrennungs- d. h. Oxydationsvorgang bezeichnet haben, mit dem aufgespeicherten Kohlenstoffe sich wieder verbinden lassen können.

Wie die Bewegungsenergie des Lichtes in der assimilierenden Pflanzenzelle verschwindet, um an ihrer Stelle eine gleichwertige Menge chemischer Energie in Form von Kohlenstoffverbindungen entstehen zu lassen, so wird bei der den Lebensprozeß bedingenden und unterhaltenden Verbrennung aus ihr wieder die kinetische d. h. Bewegungsenergie gewonnen.

Wenn wir eingetrocknete Pflanzenkörper, sei es Holz, das die betreffende Pflanze zu unseren Lebzeiten bildete, oder Braunkohle, die sie vor einigen Millionen Jahren, oder Steinkohle, die sie vor hundert oder zweihundert Millionen Jahren aufbaute, verbrennen, so verbindet sich der darin aufgespeicherte Kohlenstoff mit dem Sauerstoffe der Luft aufs neue zu Licht und Wärme verbreitender Strahlungsenergie, und durch ihre Verbindung entsteht eine entsprechende Menge Kohlensäure, die entweicht, um in den Kreislauf der Elemente einzutreten und in neuen Pflanzen mit Hilfe der Energie der Sonnenstrahlen in ihre Grundstoffe gespalten zu werden. Abermals wird der Kohlenstoff von der Pflanze zurückbehalten und zum Aufbau organischer Materie verwendet, die bei ihrer Auflösung, sei es beim Verbranntwerden oder bei der Aufspaltung durch die Fäulnispilze, den darin enthaltenen Kohlenstoff durch abermalige Sauerstoffaufnahme zu Kohlensäure oxydiert erhält. Bei dieser Verbindung mit Sauerstoff wird die bei der Trennung beider geleistete Arbeit, die mit dem Aufziehen einer Uhrfeder verglichen werden kann, wieder frei und kann zu beliebiger Arbeitsleistung Verwendung finden; sie kann gleicherweise in elektrische Energie, in Licht, in Wärme oder in mechanische Arbeit umgewandelt werden.

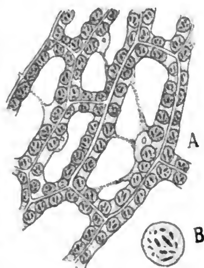


Fig. 49. Entstehung der Stärke in den Chlorophyllkörpern eines Moosblattes. A Einige Zellen des Blattes des Laubmooses Mnium hornum mit zahlreichen Chlorophyllkörpern, welche Stärkeeinschlüsse enthalten. B Ein einzelner Chlorophyllkörper mit den eingelagerten, im Sonnenlichte gebildeten Stärkekörnern stärker vergrößert. Nach Giesenhagen.

Digitized by Google

Außer der Spaltung der Kohlensäure in ihre Grundstoffe vollziehen die Chloroplasten in der assimilierenden Pflanzenzelle mit Hilfe der lebendigen Energie der Sonnenstrahlen auch die Trennung von Wasser in ihre beiden Bestandteile Wasserstoff und Sauerstoff. Auch diese Reduktion bedeutet eine große Arbeitsleistung und entspricht dem Spannen einer Uhrfeder. Und wenn sich bei der Oxydation, der den Lebensprozeß begleitenden Verbrennung, Wasserstoff und Sauerstoff wieder mit einander verbinden, so entsteht abermals eine gleiche Menge freier Energie, wie sie bei der Trennung beider einst verbraucht wurde. Gleicherweise vollzieht sich eine Spannung oder Aufspeicherung chemischer Energie in der Pflanze unter Verbrauch von Sonnenenergie durch die Vereinigung des aus der Kohlensäure abgespaltenen Kohlenstoffes mit dem aus dem Wasser reduzierten Wasserstoffe und dem aus den salpetersauren Verbindungen des Bodens aufgenommenen Stickstoffe. Diese Atome setzen ihrer gegenseitigen Verbindung zu den zusammengesetzten Molekeln der höheren organischen



Fig. 50. Ein Blick in das chaotische Gewirr des immerfeuchten Nebelwaldes mit zahlreichen Epiphyten und Farnen bei ca. 2700 m Höhe am Vulkan Pangerongo auf Java. Alles ist mit einem dichten Moosfilz überzogen, auf den Ästen finden sich wahre „atmosphärische Gärten“.

Digitized by Google

Verbindungen einen mächtigen Widerstand entgegen, dessen Überwindung die von den Sonnenstrahlen zu leistende Arbeit darstellt. Der Widerstand, den beispielsweise Kohlenstoff und Stickstoff ihrer Verbindung entgegenstellen, ist so groß, daß sie künstlich nur bei den höchsten von uns erzeugbaren Hitzegraden, nämlich im elektrischen Bogenlicht, erzwungen werden kann. Welch gewaltige Energie in diesen Kohlenstoff-, Wasserstoff- und Stickstoffverbindungen, aus welchen alle organische Substanz aufgebaut ist, aufgespeichert sein kann, das veranschaulicht die Tatsache, daß die mächtigsten Explosivstoffe, wie Schießpulver, Schießbaumwolle, Dynamit und alle andern Sprengstoffe aus solchen, in letzter Linie aus der Sonnenenergie gewonnenen Verbindungen bestehen.

Nur im Reiche der Pflanzen werden also mit Hilfe der Energie des Sonnenlichtes die Federn gespannt,

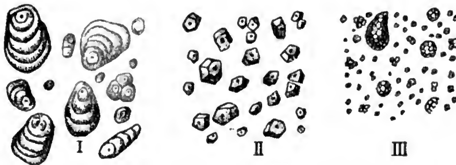


Fig. 51. *Verschiedene Arten von Stärkekörnern:* I aus der *Kartoffelknolle*, II aus dem *Maiskorn*; die Körner sind durch gegenseitigen Druck eckig geworden. III aus dem *Haferkorn*; neben einzelnen größeren, zusammengesetzten Stärkekörnern liegen viele eckige Teilkörner. (Nach Giesenhagen.)

welche die Uhr des Lebens treiben. Die Pflanzen sind die ältesten der Erde entsprossenen Sonnenkinder, die nicht nur beständig für sich die Energiemengen zum Unterhalte des Lebens aus der unerschöpflichen Fülle der Sonnenstrahlung entnehmen, sondern in ihren Körpern einen für sie selbst überflüssigen Überschuß von Sonnenenergie aufspeichern. Und wie sie es heute tun, so taten sie es seit Urbeginn der Schöpfung, als sie in den warmen Meeren der Vorzeit in Erscheinung traten; denn sie sind die erstgeborenen Kinder des Lichtes. Erst ihre Tätigkeit ermöglichte den Tieren ihr Dasein, da letztere von sich aus diese Energieaufspeicherung aus der Sonnenkraft nicht zu vollziehen vermögen. Samt und sonders sind sie Almosengänger und Schmarotzer an der selbstlos auch für sie arbeitenden Pflanzenwelt, von deren angesammeltem Kapital sie zehren und ihr Leben fristen.

Digitized by Google

Welche gewaltige Arbeit die Pflanzen für die Tierwelt und uns Menschen, als den Herrentieren, leisten, das sollen uns einige Zahlen deutlich machen. Das erste für uns nachweisbare Assimilationsprodukt in den Chloroplasten der Pflanzenzelle sind die durch Jodlösung charakteristischerweise dunkelblau zu färbenden, meist kugeligen oder eiförmigen und durch Aufeinanderfolge von wasserärmeren und wasserreicheren Schichten einen schaligen Bau aufweisenden, in manchen Fällen aber auch durch gegenseitigen Druck eckig gewordenen Stärkekörner, von denen wir hier einige abbilden. Ein großes Kürbisblatt, das etwa 50000 Millionen Chlorophyllkörperchen enthält, bildet während 10 Stunden Sonnenschein 2 g Stärke, wobei 5 cbm Kohlensäure — gerade so viel als der Mensch in gleicher Zeit beim Atmen ausscheidet — und 1 g Wasser verbraucht werden. Die Samenkörner des Weizens bestehen zu 70 Prozent ihres Trockengewichtes aus Stärke, die Kartoffeln dagegen nur zu 25 Prozent. Beide Teile sind Reservestoffspeicher der Pflanze: im Samenkorn der einjährigen Pflanze ein solcher zu Gunsten der kommenden Generation, in der Kartoffelknolle dagegen zur Ernährung des neuen im Frühjahr auszutreibenden Sprosses. Bei mittlerer Ernte trägt ein Hektar Kartoffelland etwa 10000 kg Kartoffeln, die 2500 kg Stärke enthalten. Dasselbe Stück Acker mit Weizen besät gibt einen Stärkeertrag von 1750 kg. Alle diese Stärke, wie auch die andern aufgespeicherten Reservenahrungsstoffe, wie verschiedene Eiweißkörper und Fette, sowie der Holzstoff, sind in den Blättern der betreffenden Pflanze durch die Chloroplasten mit Hilfe der Energie der Sonnenstrahlen gebildet worden.

Alle diese von den unermüdlich im Sonnenlichte assimilierenden Pflanzen durch Zusammenfügen von Kohlenstoff, Stickstoff, Wasserstoff, teilweise auch Sauerstoff und anderer Elemente aufgespeicherte Energie in Form von Eiweißstoffen, Kohlehydraten oder Zuckerstoffen und Fetten verzehren die Tiere, um durch diese Zufuhr des von den Pflanzen aus der Sonne gewonnenen und festgehaltenen Energiestromes sich mit der zum Leben notwendigen chemischen Energie zu versehen. So nehmen die Pflanzenfresser die von der Pflanze aufgespeicherte Sonnenenergie aus erster Hand und verbrauchen sie zum Lebensprozesse und zum Aufbau ihres Körpers, und indem sie wiederum den Fleischfressern zur Nahrung dienen, beziehen diese letzteren die von den Pflanzen erworbenen chemischen Energien aus zweiter Hand. Und die Endprodukte des Stoffwechsels dieser Tiere sind wiederum die Rohstoffe, die neue Pflanzengenerationen mit Hilfe der Energie der Sonnenstrahlung in

Digitized by Google

ihren Chloroplasten zum Aufbaue neuer organischer Verbindungen verwenden, in denen wiederum gewaltige Mengen von chemischer Energie zum Lebensunterhalte der Tierwelt gewonnen werden.

So ist das harmonische Ineinanderarbeiten der Pflanzen- und Tierwelt ein in sich geschlossener Kreislauf, dessen Motor die von der Sonne ausstrahlende lebendige Kraft ist. Alles Leben ist körpergewordene und sich darin manifestierende Sonnenkraft oder Sonnenstrahlung, die den Kreislauf der Elemente unterhält und immer neues Leben ermöglicht und schafft.

Ist auch das Leben eine Verbrennung, ein Oxydationsprozeß, der in Pflanzen und Tieren gleicherweise vor sich geht, so ist doch die in den assimilierenden Pflanzenzellen vor sich gehende Synthese, der Aufbau von organischer Substanz, die mit Hilfe der Energie der Sonnenstrahlen vorgenommene Trennung der Elemente, die Desoxydation, oder wie wir diesen Prozeß sonst noch bezeichnen wollen, vorherrschend. Es erwirbt nämlich die Pflanze mehr Kraft aus dem Sonnenkapital als sie verbraucht, deshalb speist sie von ihrem Überschusse die ganze Tierwelt mit Einschluß des Menschen, die wir alle Kostgänger bei den erstgeborenen Erdenkindern, den Pflanzen, sind. Kein Tier assimiliert!*) da es nicht im Besitze der diesen Assimilationsprozeß besorgenden Chloroplasten ist. Aber eine durch die ganze Schöpfung verbreitete und besonders bei zahlreichen niederen Tieren zur eingefleischten Gewohnheit

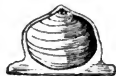


Fig. 52. Stärkebildner mit Stärkekorn aus der Kartoffelknolle. (Sehr stark vergrößert.)

*) Von dieser Grundtatsache der Biologie ist in neuerer Zeit nur eine einzige Ausnahme bekannt geworden, die aber auch noch dringend der Bestätigung bedarf. Es hat nämlich die durch ihre physiologischen Untersuchungen an Kerfen, besonders Faltern, bekannte Dr. M. Gräfin von Linden in einer Arbeit im Archiv für Anatomie und Physiologie 1906 erste Hälfte betitelt: die Assimilationsfähigkeit bei Puppen und Raupen von Schmetterlingen den Nachweis führen zu können geglaubt, daß diese Tiere am Tage in kohlensäurereicher Atmosphäre wie die Pflanzen Kohlensäure absorbierten und mit Hilfe der Energie der Sonnenstrahlen spalteten; dabei verwerteten sie den Kohlenstoff wie jene zum Aufbau organischer Substanzen und gaben den Sauerstoff nach außen ab. Als Folge einer derartigen, bisher nur den chlorophyllführenden Pflanzen zugeschriebenen assimilatorischen Tätigkeit ergab sich bei den Puppen, trotz längerem Fasten, eine teilweise bedeutende Gewichtszunahme und eine dementsprechende Steigerung des Kohlenstoffgehalts, die allerdings bei weitem nicht die hohen bei Pflanzen festgestellten Beträge erreichten. Nur bei großer Wärme ist der Atmungsprozeß der Puppen so angeregt, daß die assimilatorischen Vorgänge ganz verdeckt werden.

Digitized by Google

gewordene bequeme Aushilfe ist, nicht die diese Chloroplasten enthaltende Pflanze mit ihrem Energievorrat zu verspeisen und damit zu töten, sondern lebend in sich aufzunehmen und hier für sich arbeiten zu lassen.

Diesem bequemen Aushilfsmittel verdankt eine der allerverbreitetsten Symbiosen ihren Ursprung, nämlich die zu gegenseitigem Nutzen eingegangene Wohn- und Nahrungsgenossenschaft zwischen Tier und Pflanze. Indem zahlreiche niedere Tiere wie Infusorien, Polypen, Korallen, Quallen und Würmer kleine mit Chloroplasten ausgestattete einzellige Algen in ihren durchscheinenden Körper aufnehmen und dadurch grüngefärbt erscheinen, profitieren sie nicht nur von dem Überschuß der von diesen Tischgenossen erzeugten Energieaufspeicherung, sondern auch von dem bei der Assimilation dieser als unbrauchbar abgeschiedenen Sauerstoff. Deshalb können sie sich auch in stagnierendem Wasser mit sehr mangelhafter Sauerstofferneuerung gleichwohl erhalten, was anderen Tieren, die solche nützliche Lebensgenossen nicht beherbergen, rein unmöglich ist. Die Algen ihrerseits ziehen den Gewinn aus der geschützten Lage an der Körperoberfläche ihrer Wirte, wo sie die für ihre energieaufspeichernde Tätigkeit nötige Lichtzufuhr genießen und außerdem aus direkter Quelle die vom Tiere als Endprodukt des Stoffwechsels erzeugte Kohlensäure aus dessen Geweben beziehen, um durch deren mit Hilfe der Sonnenstrahlung vorgenommenen Spaltung neue Energiemengen zu gewinnen, die das Tier wiederum verbraucht. Der große, von der Pflanzenwelt zur Tierwelt und von dieser wieder



Fig. 53. Einzelne Zelle aus dem die Zoochlorellen beherbergenden Entoderm oder Magenblatte der Seerose mit einem nach außen ragenden Flimmerhaare und 6 mit ihr in Symbiose lebenden Algen.

Wie in der Pflanze das Blattgrün, scheint in den Schmetterlingspuppen und -raupen der ebenfalls eisenhaltige Blutfarbstoff der Vermittler der Assimilation zu sein. Durch diese überaus nützliche Fähigkeit vermögen die Schmetterlingspuppen bei langer Ruhe wenigstens einen Teil der zerfallenden Körpersubstanz zu ersetzen. Sollte sich diese merkwürdige Beobachtung als richtig erweisen, so wäre das ein Beweis mehr für die im Laufe unserer Betrachtung immer deutlicher hervortretende Tatsache, daß nur relative und nicht absolute Gegensätze zwischen der Lebensökonomie der Pflanzen und der Tiere vorhanden sind, daß vielmehr beide Entwicklungsrichtungen des Lebens weit größere Ähnlichkeiten unter einander trotz der durch die ganz verschiedene Lebensweise bedingten Unterschiede aufweisen, als man bisher glaubte.

Digitized by Google

zur Pflanzenwelt gehende Kreislauf der Elemente geht hier also im engsten Raume vor sich.

Diese in die durchsichtigen äußersten Körperschichten von Tieren aufgenommenen und hier nicht verdauten, sondern als umsonst Nahrung und damit Leben spendende Genossen beherbergten einzelligen Algen bezeichnet die Wissenschaft als Chlorellen oder Zoochlorellen. Ebenso frei und nackt wie die Chloroplasten, jene winzigen, chemische Energie aufspeichernden Körper in der Pflanzenzelle, leben sie in den ihnen ursprünglich fremden Zellen des ihnen Herberge spendenden und aus leicht begreiflichen Gründen Schutz gewährenden Tieres. Wie die Chlorellen einst selbständig lebende einzellige Algen waren, die durch eine sehr lange Zeit, unzählige Millionen von Jahren hindurch fortgesetzte Symbiose mit Tieren ihre Selbständigkeit zum größten Teile verloren, so daß sie heute nur noch zu einem sehr geringen Teile aus dem Körper ihres Symbionten oder Wohngenossen, des Tieres, befreit und in frisches Wasser gebracht weiter zu leben vermögen, so hat man die Vermutung gehegt, daß vielleicht auch die Chlorophyllkörper der höheren Pflanzen derartige, im Laufe der erdgeschichtlichen Entwicklung vollkommen in Abhängigkeit geratene, im Zellsafte lebende und darin auch mit der Möglichkeit aus dem Wasser- zum Landleben überzugehen befähigte niedrigste Pflanzen aus der Familie der Algen sind. Indem sie sich aufs Innigste mit den höher organisierten Geschwistern vereinigten, nicht nur ganz in diese übergingen, sondern sich ihnen auch vollkommen anpaßten, haben sie nicht nur ihre Selbständigkeit, sondern auch ihre ursprüngliche Gestalt verloren.

So sollen auch, wie einige Forscher glauben, die weißen Blutkörperchen aller Tiere mit Einschluß des Menschen, die in diesen ein so überaus selbständiges, wenn auch meist, so doch gar nicht immer ihrem Wohn- und Nährkörper absolut nützliches Leben führen, ebensolche im Laufe der Zeit von den Tieren aufgenommene und hier in vollkommene Abhängigkeit von ihren Wirten geratene, eines selbständigen Lebens nicht mehr fähige einzellige Tierchen aus der Gruppe der Amöben sein. Doch ist diese Annahme in höchstem Grade unwahrscheinlich; viel natürlicher ist diejenige, in diesen ein selbständiges Leben innerhalb des Organismus führenden Zellen besondere Zellindividuen zu erblicken, die eine den Protophyten oder einzelligen Algen und Protozoen oder einzelligen Urtieren allgemein zukommende Eigenschaft in hohem Grade bewahrt haben und diese zum Nutzen des Ganzen ausüben.

Indem die Pflanze sich vorzugsweise mit der Synthese organischer

Digitized by Google

Stoffe, der Reduktion von Kohlensäure, Wasser und Ammoniak unter Abgabe von Sauerstoff, wobei Wärme absorbiert wurde, abgab, konnte sie vollkommen auf die auch ihr ursprünglich, wie allen Lebewesen innewohnende Lokomotion oder Ortsveränderung verzichten. Da die Sonne überall an der Erdoberfläche, wohin die Pflanze sich auch begeben mag, gleich gut hingelangt, so ist ihr die eigene Beweglichkeit mehr oder weniger gleichgültig; ja, sie zieht es geradezu vor, unbeweglich und bodenständig zu werden, um an dem einmal von ihr eingenommenen Platze sich mit allem Fleiße der Reduktionsarbeit, der Aufspeicherung von chemischer Energie mit Hilfe der lebendigen Kraft der Sonnenstrahlen hinzugeben. Ihr Wahlspruch ist derjenige jenes edlen holländischen Arztes, der sich die brennende Kerze zu seinem Sinnbilde erwählte mit der Umschrift: Aliis inserviendo ipse consumor, d. h. Indem ich andern diene verbrauche ich mich selbst! Unablässig arbeitet sie und opfert sich für ihre Mitbrüder und Mitschwestern der Schöpfung auf, unermüdlich sammelt sie Lebensstoffe, die nur zum geringsten Teile ihr, der Hauptsache nach jedoch den Tieren zu gute kommen, die sie zum Dank für ihre selbstlose Leistung noch auffressen.

Das Tier, dessen Lebenstätigkeit im Gegensatz zur Synthese der Pflanze eine Analyse ist, indem es Kohlehydrate, Eiweißkörper und Fette konsumiert, statt wie jene zu produzieren, das unter Sauerstoffaufnahme und Wärmeentwicklung Kohlensäure, Wasser und Ammoniak produziert, statt wie jene zu verbrauchen, hat seiner von der Pflanzenwelt schmarotzenden Lebensweise gemäß die Fähigkeit der Lokomotion, des Ortswechsels um so mehr ausgebildet, je höher seine Organisation gedieh. Um die von der Pflanze erzeugten komplizierten organischen Verbindungen zu gewinnen, mit denen es sein Leben fristet, indem es die in jenen enthaltenen chemischen Energien oder Spannkräfte in lebendige Kraft der Atmung und Bewegung umsetzt, muß es sich allseitig über die Oberfläche unseres Planeten, wo immer Pflanzen gedeihen, hinbewegen können, um diese als seine Nahrungs- und Lebensspender nach Bedürfnis aufzusuchen und zu verspeisen, soweit es Pflanzenfresser ist, oder als Fleischfresser diese letzteren, die ihm entrinnen möchten, zu fangen und zu verzehren. Denn wie alle Leibessubstanz, die vom Tiere verspeist wird, so ist auch der in der Ampel brennende Talg tierischer Herkunft nichts anderes als die in Form von Licht und Wärme wieder zu Tage tretende latente Energie, die die Pflanze in ihren Chloroplasten im Sonnenlichte aufspeicherte und nun wieder als kinetische Energie, als mechanische Arbeit leistende Kraft zum Vorschein kommt.

Digitized by Google

Da alles Leben ein Oxydationsprozeß, eine Verbrennung ist, so muß auch die Pflanze, wie das Tier, Sauerstoff verbrauchen und mit dem Kohlenstoffe der Nahrung verbunden als Kohlensäure wieder ausscheiden. Aber dieser Lebensprozeß ist in ihr durch die viel energischere, mit Reduktion unter Sauerstoffabgabe und Wärmeabsorbtion verbundene Synthese in dem Maße verdeckt, daß uns nur der letztere Vorgang in die Augen fällt, so lange wir es wenigstens mit normalen grünen, selbständig lebenden Pflanzen zu tun haben. Nur die chlorophyllfreien Pflanzen, die Pilze und alle Schmarotzer, halten es wie die Tiere, sie leben auf Kosten der Pflanzen, indem sie nicht wie jene unter Sauerstoffabgabe reduzieren, sondern unter Sauerstoffaufnahme oxydieren und dabei Wärme entwickeln, statt, wie es sonst in der grünen Pflanzenwelt der Brauch ist, Wärme zu absorbieren, d. h. zu verschlucken.



Fig. 54. Eine Gruppe verschiedener Palmenarten aus dem botanischen Garten von Buitenzorg auf Java als Beispiel für Vegetationsformen der Tropen.

Da nun Leben Verbrennung ist, so muß in allem Lebendigen, in der Pflanze so gut wie im Tier, mit der Bildung neuer Substanz, mit dem Aufbau des lebendigen Leibes aus ihr, ein stetiger Stoffverbrauch

Digitized by Google

Hand in Hand gehen. Ist die Assimilation im Chlorophyll bei der Pflanze eine Quelle stetigen Gewinnes, so ist auch bei ihr die Atmung eine dauernde Ursache des Verlustes an assimilierter Substanz. Der Sauerstoff ist der mächtige Zerstörer, der unausgesetzt an allem Lebenden nagt, der die Molekeln spaltet und die komplizierten, durch den synthetischen Prozeß der Assimilation in der Pflanze gewonnenen Atomverkettungen auseinanderreißt. Und dennoch lebt nur, was diesem ewigen Wechsel unterliegt. Atmen und leben hat in der Sprache dieselbe Bedeutung, nur was atmet lebt.

Gleich wie das Tier atmet auch die Pflanze ihr ganzes Leben hindurch und verbraucht dabei Sauerstoff. Von der Keimung ihres Samens bis zum Dahinwelken nach hervorgebrachter Blüte und Frucht verbrennt sie beständig diesen Lebensstoff, den sie wie das Tier mit Kohlenstoff verbunden als Kohlensäure wieder ausatmet. Alle Pflanzenteile atmen, Wurzeln, Stengel, Blätter, Blüten und Früchte, und zwar beständig, Tag und Nacht; nur ist die Lebhaftigkeit der Atmung nicht zu allen Zeiten und in allen Organen der Pflanze gleich. Wie beim Tier bestimmte Organe zu bestimmten Zeiten, der von ihnen zu leistenden Arbeit entsprechend, eine verschieden starke Atmung zeigen, so atmen auch in der Pflanze die Organe um so intensiver, je regsamer sich das Leben in ihnen geltend macht. Dementsprechend atmen keimende Samen und sich entwickelnde Blüten im allgemeinen energischer als die grünen Blätter, und diese letzteren wiederum intensiver als Wurzeln, Stengel und Früchte.

Von der Menge der ausgeatmeten Kohlensäure, die ein bestimmtes Gewicht oder Volumen von Pflanzenteilen zu liefern vermag, mögen folgende Daten eine annähernde Vorstellung geben. 12 Knospen des Flieders, Syringa vulgaris, welche bei 110° C. getrocknet 2 g wogen, atmeten in 24 Stunden 70 ccm Kohlensäure aus. 5 Knospen des der Roßkastanie verwandten Aesculus makrostachya mit 0,85 g Trockengewicht lieferten in 24 Stunden 45 ccm Kohlensäure. Keimpflanzen des Schlafmohns, Papaver somniferum, welche getrocknet 0,45 g wogen, gaben in 24 Stunden 45 ccm Kohlensäure, und Keimpflanzen des Senfs mit 0,55 g Trockengewicht in derselben Zeit 32 ccm Kohlensäure von sich. Da die Atmung, abgesehen von den keimenden Samen — man denke nur an die großen Wärmemengen der keimenden Gerste auf den Malzböden der Bierbrauer — in den Blüten am energischsten ist, so läßt sich auch hier die daraus resultierende Wärmeentwicklung am besten nachweisen. Alle Blüten erzeugen mehr oder

Digitized by Google

weniger energisch Wärme, so daß es uns nicht wundert, daß am Rande der Schnee- und Firnfelder in den Hochgebirgen zarte atmende Blütenknospen sich mit Hilfe der von ihnen erzeugten Wärme Löcher in den sie bedeckenden Schnee oder gar Eis schmelzen, um ihre Blüten am Lichte entfalten und den Besuch der für die Übertragung des Pollens erwarteten Insektengäste in Empfang nehmen zu können. So wachsen die am Schlusse der letztjährigen Vegetationsperiode bis in alle Einzelheiten angelegten Blütenknospen der violett blühenden Soldanella alpina mit dem ersten Erwachen des Frühjahrs bei einer Temperatur der Umgebung von 0° durch den sie bedeckenden Schnee, indem letzterer durch die bei der Streckung der Knospe durch die Atmung entbundene Wärme in der Umgebung der Pflanze zuerst kuppelförmig und dann zu einer durchgehenden Röhre geschmolzen wird. Dieser interessante Vorgang beweist, daß auch kleine, vereinzelt stehende, ungemein zarte Blüten nicht nur ihr eigenes Gewebe, sondern auch die Umgebung erwärmen, und daß die durch ihren Atmungsprozeß frei werdende Wärme genügt, um sie aus ihrem kalten Gefängnisse zu befreien.



Fig. 55. Vermittelst Wärmebildung durch den Schnee hindurchgebrochene Blüten der Alpen-Soldanelle.

Den hier ausnahmsweise zu beobachtenden Vorgang vermöchten wir auch an anderen Blüten festzustellen, wenn wir einen Indikator dafür hätten. Ein solcher bietet sich uns im Thermometer dar, dessen Anwendung uns regelmäßig zeigt, daß in allen Blüten die Temperatur gegenüber derjenigen der umgebenden Luft erhöht ist. So zeigte, wie Prof. Anton Kerner von Marilaun in seinem ausgezeichneten Pflanzenleben erwähnt, auf einer Alpenwiese bei einer Lufttemperatur von 8,4° am Morgen kurz nach Sonnenaufgang das Innere einer Blüte des stengellosen Enzians, Gentiana acaulis, die Temperatur von 10,6° C. Bei trübem Himmel und ruhiger Luft besaß auf einer Bergwiese das Innere einer Blume der behaarten Glockenblume, Campanula barbata, 16,6°, und nicht weit davon entfernt an einem Waldrande das Innere des helmförmigen Blumenblattes eines Sturmhutes, Aconitum paniculatum, 14,6°, während die Lufttemperatur außen in beiden Fällen nur 13,2° betrug.

Bei weitem ausgiebiger zeigt sich die Temperatur der Luft im

Digitized by Google

Bereiche einer atmenden Pflanze erhöht, wenn zahlreiche kleine, dicht zusammengedrängte Blüten von einer gemeinsamen Hülle umgeben sind, und wenn diese Hülle derartig gestaltet ist, daß in dem von ihr umschlossenen Raume Windstille herrscht. Auf derselben Bergwiese, auf welcher die erwähnte Glockenblume in Bezug auf die Temperatur im Innern ihrer Blütenglocke geprüft wurde, stand eine Wetterdistel, Carlina acaulis, in voller Blüte. Da das Wetter trübe war, erschien auch das Distelköpfchen geschlossen, d. h. die starren Hüllblätter waren mit ihren Spitzen zusammengeneigt und bildeten einen über die Blüten gelegten Deckel. Das zwischen diesen Hüllblättern bis zu den Blüten abwärts eingeführte Thermometer zeigte eine Temperatur von 20,4°, die umgebende Luft 13,2°; das ist also ein Unterschied von mehr als 7°.

An den Palmen, deren zahlreiche kleine, gehäufte Blüten von großen Blütenscheiden eingehüllt sind, zeigt die Luft innerhalb dieser Hüllen meist eine so starke Erhöhung der Temperatur, daß man sie schon durch das Einführen der bloßen Hand fühlen kann. Ähnlich verhält es sich in dem von einem dütenförmigen Hüllblatte, der Spatha oder Scheide, umgebenen Blütenkolben der Aronsgewächse. So fand man in der Blütenhülle der brasilischen Tornelia fragrans eine Temperatur, die 13° höher als die umgebende Lufttemperatur war, bei Arum cordifolium von der Insel Bourbon betrug die Differenz 14° und beim italischen Aron, Arum italicum, gar 25—29°. Solche Aroideen zeigen demnach im Bereiche ihrer atmenden Blüte eine Temperatur, welche nicht nur unserer Blutwärme nahekommt, sondern sie sogar übertrifft.

Je größer die Energie des Lebensprozesses ist, um so stärker ist die Atmung und um so mehr Wärme wird erzeugt. So sind bei getrenntgeschlechtigen Pflanzen die männlichen Blüten, die eine Unmenge von Pollen zu erzeugen haben und deshalb einen ungemein starken Stoffwechsel aufweisen, stets wärmer als die weiblichen. Betrug bei männlichen Kürbisblüten die Temperatur 4—5° mehr als die umgebende Luft, so erreichte dieser Betrag in den weniger intensiv atmenden, weil nur sehr wenige Keime anlegenden weiblichen Blüten nur ein Drittel dieses Wertes.

In jüngster Zeit hat man an den herrlichen, zuerst schneeweiß und von der zweiten Nacht an purpurn gefärbten Blüten der Victoria regia des Amazonenstromes interessante Beobachtungen gemacht. Man konstatierte in ihnen eine Erwärmung von 10—14° über die Außentemperatur, und zwar beginnt die hauptsächlich von den Σ-artigen Anhängseln der Fruchtblätter ausgehende Wärmeentwicklung schon neun

Digitized by Google

Stunden vor der Entfaltung der Blüte und nimmt mit dem fortschreitenden Öffnen derselben zu, so daß sie abends gegen acht Uhr ihren höchsten Stand erreicht hat. Mit der vollen Entfaltung der Blüte mit dem Einbrechen der Nacht beginnt die Wärme zu sinken und erreicht



Fig. 56. Die Wasserrose des Amazonenstroms, Victoria regia, im botanischen Garten von Buitenzorg auf Java. Im Hintergrunde der afrikanische Fetischbaum, Kigelia africana, wegen seiner wurstartigen Früchte auch Leberwurstbaum genannt. Dessen herabhängende Trauben großer, rotgestreifter Blüten werden eifrig von den bunten Nektarinen od. Honigvögeln besucht, welche dabei die Übertragung des Blütenstaubes besorgen, als deren Wirkung jene großen, grauen zylindrischen, mit Leberwürsten verglichenen Früchte entstehen. Das säuerliche Fruchtfleisch derselben liefert ein kühlendes Getränk und aus dem Baste der Rinde wird ein ungemein zäher Rindenstoff hergestellt. Der im Alter meist hohle Stamm dient zur Wohnung und als Begräbnisort der eingeborenen Zauberpriester, deren Geist dann im Baume hausend gedacht wird; daher die Bezeichnung Fetischbaum.

in den ersten Morgenstunden des folgenden Tages ihren Tiefstand. Von diesem Zeitpunkte an nimmt sie bis zur zweiten Florescenz, bei welcher sich das reine Weiß der Blüte in Purpur umwandelt, zu, um am Abend ein zweites Maximum zu erreichen. Dabei sind die Staub- und Fruchtblätter nicht nur die Heizkörper, sondern auch die Duftkörper, welche bestimmte kleine Käferchen anlocken sollen, denen die Befruchtung obliegt. Dieser Energieverbrauch wird durch das Ver-

Digitized by Google

brennen von Stärkemehlkörnchen von der Blüte bestritten; diese verschwinden nach der Wärme- und Dufterzeugung aus den betreffenden Zellen und an ihrer Stelle finden sich nur noch stark lichtbrechende Fetttröpfchen.

Wie im Tier läßt auch in der Pflanze die Zunahme der Temperatur im allgemeinen alle Lebensvorgänge energischer verlaufen und steigert die Atmung, die bei 25—30° C. ihren Höhepunkt erreicht. Durch Abkühlung dagegen wird die Atmung entsprechend verlangsamt; allein sie hört selbst bei 0° noch nicht ganz auf, so daß also beispielsweise die Bäume, wie alle perennierenden Gewächse, auch in der kalten Jahreszeit eine schwache Atmungstätigkeit besitzen. Da sie dabei Wärme erzeugen und an die kalte Umgebung abgeben, wirken sie wie kleine Öfen; diese ihre Wirkung kann man deutlich im Winter beobachten, indem der Schnee zuerst rings um die Baumstämme wegschmilzt und diese dann vielfach am Boden von schneefreien Ringen umgeben erscheinen, die gewiß schon jedem auffielen, der mit aufmerksamen Augen durch eine Winterlandschaft spazierte. Nur die Entziehung des Sauerstoffs selbst kann die Atmung ganz aufheben, und die Erscheinungen, welche sich an solchen Pflanzen zeigen, beweisen zur Genüge die Unentbehrlichkeit des Atmungsvorganges für alle Lebensregungen.

Alle Vorgänge, die das Leben kennzeichnen, hören auf, sobald die Atmung unterdrückt wird. Die Bewegung des Protoplasmas in den Zellen, eine der ausgesprochensten Äußerungen des darin waltenden Lebens, steht still, sobald man den Sauerstoffzutritt verhindert. Wachsende Organe unterbrechen ihr Wachstum, sobald man sie des Sauerstoffs, den sie zur Atmung unbedingt nötig haben, beraubt. In vollkommen luftfreiem Wasser gehaltene oder in einem mit Stickstoff gefüllten Behälter gebrachte Samen keimen durchaus nicht. Hatte der Entwicklungsprozeß bei ihnen schon begonnen, so hört er unter diesen neuen Bedingungen sofort auf. Statt sich weiter zu entwickeln fangen dann die Keime an zu faulen und fallen der Zerstörung durch die allgegenwärtigen schmarotzenden Pilze anheim. Gleicherweise hören Weiden- oder Pappelzweige mit aufbrechenden Knospen alsbald auf diese zu entfalten und gehen an Erstickung zugrunde, sobald sie in eine Stickstoffatmosphäre gebracht werden.

Ebenso hört in allen reizbaren Pflanzenorganen das die Empfindlichkeit bedingende Leben bei Sauerstoffentzug sofort auf. Die periodischen Bewegungen der Blätter oder Ranken, die Drehungen der wachsenden Sproßenden werden unverzüglich sistiert und die Pflanzen geraten in

Digitized by Google

einen Zustand der Starrheit, der bei längerer Dauer in Tod übergeht. Durch Sauerstoffentziehung hören mit einem Wort alle Bewegungen bei Pflanzen auf, die lebenden Teile werden unbeweglich, sozusagen scheintot, und wird ihnen nicht nach kurzer Zeit wieder Sauerstoff zugeführt, so ersticken sie ebenso leicht, wie Tiere, denen man die zum Atmen nötige Luft entzieht.

Sauerstoffhaltige Luft kann also nirgends entbehrt werden, wo Lebensprozesse vor sich gehen sollen, wo Tiere und Pflanzen leben und sich entwickeln sollen. Wie alle Lebewesen bedürfen also auch Samen, die keimen, Knospen, die sich entwickeln, und Wurzeln, die wachsen



Fig. 57. Schilfformation an der Amper bei Dachau als Beispiel für die Besiedelung von seichten Wasserbecken durch rückläufig dem Wasserleben angepaßte Landpflanzen. (Nach Zünd.)

sollen, der stetigen Zufuhr atmosphärischer, d. h. sauerstoffhaltiger Luft, um atmen und leben zu können. Schon aus dem Grunde darf beispielsweise ein Boden, in dem Pflanzen kultiviert werden, nicht mit Wasser gesättigt sein, indem dadurch der Zutritt der Luft zum Boden gehindert würde. So muß bei rationeller Baumkultur der Boden überall um die Stämme gelockert werden, damit die Luft die Wurzeln erreichen und ihnen den zur Atmung nötigen Sauerstoff liefern kann.

Die Intensität der Atmung bei der Pflanze ist durchaus vom Lichte abhängig; bei allzu intensivem Lichte allerdings tritt eine Zerstörung des Chlorophyllfarbstoffs und weiterhin auch eine solche des

Digitized by Google

Protoplasmas ein. Durch die schützende Decke des Blattgrüns, das höchst energisch die allzu grellen Lichtstrahlen absorbiert, wird aber dieser schädliche Einfluß in der Pflanze bedeutend herabgesetzt, ja vielmehr geradezu in einen Vorteil umgewandelt; denn er wirkt zugleich als Regulator der Atmung, indem er die Atmungsgröße der grünen Pflanze im Licht unter die Assimilationsgröße hinabdrückt, damit die Ansammlung kohlenstoffhaltiger Assimilationsprodukte und dadurch den Fortbestand der gesamten organischen Welt ermöglicht.

Bei allen im Dunkel weilenden Pflanzen, also im normalen Verlaufe stets nachts, wird bei der Pflanze wie beim Tier nur Atmung beobachtet. Bloß im Lichte, also am Tage, tritt die Atmung gegenüber der Assimilation mehr zurück, so daß trotz oft bedeutender Verluste an organischem Material dennoch der Überschuß an neugebildeter organischer Substanz so bedeutend ist, daß eine stetige Zunahme des Trockengewichtes der Pflanze erfolgen kann. Wird dagegen eine Pflanze, z. B. ein keimender Same, unter Abschluß des Lichtes kultiviert, so tritt, da keine Zufuhr von Bildungsmaterial durch Assimilation erfolgt, infolge der allein stattfindenden Atmung ein beträchtlicher Gewichtsverlust an Trockensubstanz, sodann, wenn schließlich die Reservenahrung aufgezehrt ist, ein Stillstand im Wachstum und schließlich der Tod durch Verhungern ein.

Besondere Atmungsorgane, wie sie das Tier in seinen Lungen besitzt, entwickelt die Pflanze nicht. Der Eintritt des atmosphärischen Sauerstoffs wird bei ihr, wie alle Gasaufnahme überhaupt, durch die vorzugsweise an der Unterseite der Blätter, aber auch sonst über den ganzen Körper verbreiteten Spaltöffnungen ermöglicht. Durch diese, die nach Belieben geöffnet oder geschlossen werden können, verbreitet sich die Luft in alle Zwischenzellräume und die Zellen ziehen so den Sauerstoff, dessen sie bedürfen, nach Belieben an sich.

Bei den Tieren, die einen viel dichteren Zellaufbau und eine viel weitergehende Arbeitsteilung durch Ausbildung besonderer Organe durchgeführt haben, durchdringt die Luft nur bei den Insekten den ganzen Körper, indem sie durch immer weitergehende Verästelung der Tracheen bis an die entlegensten Zellgruppen im Innern des Körpers geführt wird. Sonst aber sind bei ihnen überall, soweit die einfache Haut- oder Darmatmung nicht genügt, was ja nur bei ganz kleinen, dazu noch niedrig organisierten Tieren möglich ist, besondere Atmungswerkzeuge in Form von Kiemen bei im Wasser atmenden und von Lungen bei in der Luft atmenden Tieren ausgebildet. Zu ihnen

Digitized by Google

führen geschlossene Röhrensysteme, die sich in allerfeinste Kapillaren oder Haargefäße auflösen, in denen ein besonderes, flüssiges Gewebe, das Blut, die innere Atmung vermittelt. Und zwar ist der in das Blut aufgenommene Sauerstoff nicht einfach in der Blutflüssigkeit aufgelöst, sondern chemisch an die als spezifische Sauerstoffträger dienenden roten Blutkörperchen gebunden. Diese sind bei den Wirbeltieren rotgefärbt durch den von ihnen in besonders großen Mengen geführten roten eisenhaltigen Blutfarbstoff, das Hämoglobin. Und zwar erscheint das Blut hochrot, d. h. arteriell, wenn das Hämoglobin der roten Blutkörperchen mit Sauerstoff gesättigt ist, dunkelrot, d. h. venös dagegen, wenn es sauerstoffarm und dafür kohlensäurereich ist. Hat das Blut die Lungen oder Kiemen passiert, dabei die Kohlensäure an das umgebende Medium abgegeben und an deren Stelle den Sauerstoff aufgenommen, so strömt es, arteriell geworden, durch die feinsten Verzweigungen der Haargefäße und trägt die Lebensluft überall hin, wo ein Bedarf nach ihr besteht. An Sauerstoff arm und dafür mit dem Endprodukte der Oxydation, der giftigen Kohlensäure, reich geworden, strömt es venös wiederum den Atmungsorganen zu, um dieses Spiel immerfort bis an das Lebensende zu wiederholen; denn mit dem Aufhören des Blutkreislaufs und der dadurch vermittelten Sauerstoffzufuhr in alle Körperorgane ist auch der Tod durch innere Erstickung da.

Ein dem Hämoglobin der Wirbeltiere sehr nahe verwandter roter Blutfarbstoff findet sich auch als spezifischer Sauerstoffträger in der rotgefärbten Blutflüssigkeit von Borstenwürmern und andern Wirbellosen. Ein ihm ebenfalls nahestehender, aber statt Eisen Kupfer führender und deshalb blauer Blutfarbstoff, Hämocyanin genannt, hat dieselbe Funktion wie das Hämoglobin in der blaugefärbten Blutflüssigkeit der Tintenfische und mancher Gliederfüßer, besonders Krebse.

Durch die in den Zellen aller Lebewesen, seien es Tiere oder Pflanzen, vor sich gehende Oxydation oder Verbrennung wird nicht nur lebendige Kraft erzeugt, welche sich in allen Erscheinungen und Betätigungen des Lebens äußert, wie der Protoplasmabewegung, den Muskelzusammenziehungen, den eigentümlichen Vorgängen in den Nervenzellen und Nervenfasern, in all den mannigfaltigen Bewegungen, die auch die sonst am Boden festgewurzelte und meist in passiver Regungslosigkeit verharrende Pflanze in zahlreichen Fällen ausführt, sondern auch Wärme. Bei den meisten Tieren geht nun, wie bei den vorhin in dieser Beziehung gewürdigten Pflanzen, die so erzeugte Wärme durch Ausstrahlung von der Oberfläche des Körpers schnell

Digitized by Google

wieder verloren, so daß die Körpertemperatur bei ihnen auch nur sehr wenig höher ist als die Wärme der sie umgebenden Luft. Infolgedessen sind alle niedrigen Tiere bis auf den heutigen Tag wechselwarm geblieben, das heißt ihr Stoffwechsel ist nicht energisch genug, um die Körpertemperatur unabhängig von derjenigen der sie umspülenden Luft zu erhalten. In der Sommerhitze, während welcher sie einigermaßen warmblütig sind, sind sie regsam und freßlustig, in der Winterkälte dagegen erstarren sie in apathischer Ruhe bis die länger werdenden Tage und die zunehmende Sonnenerwärmung sie nach und nach zu neuem sich regenden Leben erwachen läßt.

Dieses höchst geringe oder selbst unmerkliche Wärmeerzeugungsvermögen aller Wirbellosen und der niedrigen Wirbeltiere scheint an sich schon auf die bedeutend höhere Lufttemperatur hinzudeuten, in welcher sich das Leben der ältesten Pflanzen und Tiere auf der Erde, wie auf allen anderen belebten Himmelskörpern, abgespielt haben muß, ganz abgesehen von einzelligen Lebewesen, wie Algen und Infusorien, die heute noch, wie wir sahen, in warmen vulkanischen Quellen, die fast die Siedehitze erreichen, ganz gut gedeihen. In dieser wärmeren Urzeit konnten sich bei allen diesen Tieren, die als Wechselwarme in der Jetztzeit außerhalb der Tropen nur ein Sommerleben führen und die Kälteperioden im Winterschlaf mit auf ein Minimum reduzierter Lebenstätigkeit überstehen, eine weitgehende Vervollkommnung der Organisation ausbilden, ohne daß sich bei ihnen eine besondere Warmblütigkeit entwickelt hätte. Weil eben kein Bedürfnis darnach vorhanden war, hatten sie das Vermögen, ihre Eigenwärme über diejenige ihrer Umgebung zu erhöhen, nicht ausgebildet.

Erst als im Laufe der einige Hundert Millionen Jahre umfassenden geologischen Entwicklung die Wärme an der starren Oberfläche unseres Planeten in Wasser und Luft abnahm, waren die höchstgestiegenen Tiergeschlechter vor die Notwendigkeit gestellt, wollten sie überhaupt Fortschritte in ihrer Weiterentwicklung machen, die Leistungsfähigkeit ihres Körpers und besonders der Psyche unabhängig von der kühler werdenden und sie sonst durch Kälteperioden zu zeitweiligem Halbtode verurteilenden Temperatur der Außenwelt zu machen. So entstanden nach und nach im Laufe der erdgeschichtlichen Entwicklung Tiere, die durch unwillkürlich regeren Stoffwechsel auch in der kühler werdenden Umgebung ihre Eigentemperatur in die Höhe zu treiben versuchten, um sich so in ihrer Lebenstätigkeit von den äußeren Verhältnissen unabhängig zu machen.

Digitized by Google

Schon bei den wechselwarmen sogenannten Kaltblütern beobachten wir gelegentlich Körpertemperaturen, die sich teilweise nicht unerheblich über die Temperatur der umgebenden Luft erheben. So zeigen Eidechsen und Vipern eine Körpertemperatur, die sich oft 6° über die Lufttemperatur erhebt, und bei brütenden Pythonschlangen hat man zwei Monate lang einen Überschuß von 11° bis 14° über die Außentemperatur festgestellt, so daß man solche Tiere während dieser Zeit als beinahe Warmblüter bezeichnen kann. Noch weiter in der Behauptung einer Eigenwärme gelangten alle Tiere, die die eierlegende



Fig. 58. Hochalpines Moor mit Wollgras, Eriophorum Scheuchzeri, das seinen flugfähigen Samen durch den Wind ausstreuen läßt, am Berninapaß. (Nach Dr. Hegi.)

Reptilstufe überwanden. Aber auch bei diesen war naturgemäß das Wärmeaufspeicherungsvermögen zunächst noch ein sehr schwaches und unvollkommenes. Heute noch können wir an den bis in die Gegenwart im Kampfe ums Dasein erhalten gebliebenen Tieren das verschieden weit Gelangen in der Energie der Wärmeproduktion beobachten. Nur bei den höchsten Tieren, den Säugetieren und Vögeln, ist das Vermögen der Wärmerzeugung so bedeutend ausgebildet und ist der Körper in so weitgehender Weise mit Vorrichtungen ausgestattet worden,

Digitized by Google

welche es ermöglichen, die durch Oxydation und innere Atmung in stets zunehmender Menge erzeugte Wärme so viel besser als bei den noch wechselwarmen Vorfahren zurückzuhalten, daß sie nun imstande sind, ihren Körper auf einer einigermaßen konstanten, ziemlich hohen Temperatur zu erhalten, die zuweilen sehr bedeutend von derjenigen der umgebenden Luft abweichen kann.

So ist bei der niedrigsten Gruppe der Säugetiere, bei den eierlegenden Monotremen oder Kloakentieren, so genannt, weil sie noch eine wohlentwickelte Kloake wie die Reptilien besitzen, die Warmblütigkeit noch eine sehr bescheidene. Während beim Schnabeltier, Ornithorhynchus paradoxus, bei 20° äußerer Lufttemperatur eine Blutwärme von 25° gemessen wurde, kann letztere in der Kälte bis 22° sinken und andererseits in der Sonnenwärme bis 37° steigen. Es ist also dieses Tier trotz der im Vergleich zum Reptil bedeutend gesteigerten Eigenwärme doch noch in hohem Grade wechselwarm, was für die Gleichmäßigkeit seiner Lebensbetätigung das ganze Jahr hindurch recht ungünstig ist. Weiter im Wärmeaufspeicherungsvermögen und in der Unabhängigkeit von den Temperaturschwankungen der Außenwelt, in der es lebt, hat es der nächste Verwandte des Schnabeltiers, der ebenfalls Australien bewohnende Ameisenigel, Echidna aculeata, gebracht. Bei 10° äußerer Temperatur besitzt er eine Körpertemperatur von 30°, also 5° mehr als das Schnabeltier. Doch schwankt auch seine Temperatur noch in ziemlich weiten Grenzen je nachdem es um ihn herum warm oder kalt ist. Während das auch in seiner Organisation noch ziemlich reptilhafte Schnabeltier in einer in die Erde gegrabenen Höhle zwei Eier legt, die bebrütet werden und deren Junge es nach dem Ausschlüpfen mit einer wässerigen Milch ernährt, wird das vom Ameisenigel in der Einzahl gelegte, dünnschalige Ei in eine unpaarige sackförmige Vertiefung der Bauchseite aufgenommen und hier ausgebrütet. Dabei hat der Sack, der auch noch später nach dem Ausschlüpfen des Jungen ihm als schützender Aufenthaltsort dient, beim Bebrüten eine Temperatur, die um mehrere Grade über diejenige des übrigen Körpers steigt.

Von den höher als diese gestiegenen Beuteltieren, die zwar keine großen, von einer Schale umgebenen Eier mehr wie die Kloakentiere legen, bei denen die reptilhafte Kloake nur noch beim Weibchen rudimentär als Grube vorhanden ist, das seine kleinen, im Eileiter entwickelten Eier mit einer in der Eileiterwand abgesonderten Flüssigkeit ernährt bis der sehr kleine und höchst unvollkommen entwickelte

Digitized by Google

Embryo geboren wird, ist das Vermögen der Wärmeaufspeicherung schon bedeutend besser entwickelt. So hatte das Opossum, die ausschließlich in Amerika, und zwar besonders in Südamerika lebende Beutelratte, Didelphis, bei einer Lufttemperatur von 20° eine Eigenwärme von 33°. Der auf den Eukalyptusbäumen Australiens lebende Wombat oder kleine Beutelbär bringt es auf 34°, und nur die lebhaftesten und beweglichsten Beuteltiere, wie die Kängurus, bringen es auf 37° Eigenwärme. Bei den Zahnarmen, die dadurch ausgezeichnet sind, daß die Zähne, wenn solche überhaupt vorhanden sind, stets ziemlich unvollkommen entwickelt und schmelzlos sind, auch keine geschlossene Zahnreihe bilden, ist das Vermögen der Wärmeaufspeicherung noch vollkommener entwickelt. So besitzt das Südamerika und südliche Teile Nordamerikas bewohnende Gürteltier bei 16° äußerer Temperatur ebenfalls bereits 34°. Von den älteren Huftieren besitzt das Flußpferd bei 11° äußerer Temperatur schon 35,3°, von den Nagetieren der Sumpfbiber, Myopotamus, bei 20° äußerer Temperatur gar 35,5°. Diese Eigentemperatur weist unter den Handflüglern oder Fledermäusen der Vampyr bei 18° Lufttemperatur auf. Von den mittleren Säugetieren weist der Elefant bei 11° Lufttemperatur 35,9° auf, von den Winterschläfern das Murmeltier bei 11° Lufttemperatur bis 37,3°, oft aber auch nur 35°; während des Winterschlafes jedoch sinkt seine Temperatur infolge des auf ein Minimum herabgesetzten Stoffwechsels unter 10°. Ein solches auf etwa 9° abgekühltes winterschlafendes Murmeltier steht in seiner Wärmeökonomie dem wechselwarmen Kaltblüter außerordentlich nahe und verbraucht dann nach den genauen Beobachtungen von Weinland und Riehl 20mal weniger Sauerstoff als im lebhaften, wachen Zustande. Entsprechend sinkt auch die Ausscheidung von Kohlensäure, die von 1000 mg pro Kilogramm und Stunde im Wachsein auf unter 50 mg im Winterschlafe herabgeht. Um nun die Körpertemperatur von 9° auf 35° zu bringen, muß natürlich eine besonders energische Verbrennung organischer Substanz stattfinden; dementsprechend weist das Murmeltier in dieser Periode des Aufwachens eine stündliche Kohlensäureproduktion auf, die weit über die des wachenden Tieres hinausgeht und pro Kilogramm und Stunde 2200 mg beträgt. Und zwar haben die eingehenden Untersuchungen der beiden vorgenannten Forscher, die sie in der Zeitschrift für Biologie 1907 veröffentlichten, ergeben, daß diese gesteigerte Wärmebildung beim Erwachen nicht sowohl von der Fettverbrennung bestritten wird, von welcher das Tier den Winter über lebt, sondern durch die Ver-

Digitized by Google

brennung von Kohlehydraten, d. h. in erster Linie von der tierischen Stärke, dem Glycogen, erzeugt wird, das diese Tiere während der ganzen, monatelangen Dauer des Winterschlafes, die ohne irgendwelche Nahrungsaufnahme abzulaufen pflegt, immer in ansehnlicher Menge in ihrem Körper, besonders in Leber und Muskeln, den hauptsächlichsten Heizkörpern im Organismus, aufgespeichert enthalten.

Bei den Ältesten unter den höheren Säugetieren, deren Verwandte schon zu Beginn des Tertiärs erschienen, bewegen sich die Bluttemperaturen zwischen 35° und 37°. Von den Huftieren der mittleren Erscheinungszeit hat das Lama eine Körpertemperatur von 37,6°, der Esel von 37,7°, das Kamel von 37,9°, das Pferd von 38°. Von allen später, in einer mehr abgekühlten Erdperiode erschienenen Tieren blieb die Eigentemperatur auf einer konstanten Höhe ganz unabhängig von der Außentemperatur, aber immer innerhalb geringer Grenzen schwankend. So haben, um nur einige der bekannteren Tiere zu erwähnen, Affe und Ratte 38,1°, Eichhorn 38,8°, die Katzenarten 38,9°, Hund und Ziege 39,3°, Elch und Hammel 39,4°, Kaninchen 39,6°, Schwein und Hase 39,7° und Rind 40° Eigenwärme. Ja, die äußerst lebhaften, geistig regsamen und einen ganz außerordentlich raschen Stoffwechsel besitzenden Vögel übertreffen noch die höchsten Säugetiere in Bezug auf Blutwärme. Während letztere normalerweise nur bis zu 40,5° gelangen, bringen es erstere auf wenigstens 42°, ja, bei gewissen Vögeln sogar auf 43,9°. Eine solche überaus hohe Eigenwärme besitzen die ganz außerordentlich lebhaften finkenartigen Vögel, während die viel tieferstehenden altertümlichen, viel stumpferen Kiwis oder Schnepfenstrauße Neuseelands es nicht höher als durchschnittlich 38° bringen. Bei so hohen Körpertemperaturen wäre der Mensch, der im Mastdarm gemessen eine Körpertemperatur von 37,5° aufweist, schon sehr krank. Bei ihm, wie bei allen Tieren, wird bekanntlich durch Ausscheidung gewisser Gifte von in den Körper eingedrungenen krankmachenden Bakterien das im verlängerten Mark befindliche Wärmeregulationszentrum dermaßen gereizt, daß die Eigenwärme über die Norm steigt und das eintritt, was wir als Fieber bezeichnen. Diese Temperatursteigerung bei Krankheit tritt gelegentlich bei allen Warmblütern auf und bedeutet ein Heilbestreben der Natur.

Auch bei den höchsten Säugetieren, die ihre Körperwärme auf eine bestimmte, stets von ihnen beibehaltene Körpertemperatur eingestellt haben, zeigt die normale Eigenwärme bei den verschiedenen Individuen derselben Art Schwankungen von einigen Zehntel Grad. Ebenso zeigen

Digitized by Google

sich im Laufe des Tages je nach der Intensität der Wärmebildung gewisse normale Schwankungen, die 1 bis 1,5° betragen. Das Minimum der Körpertemperatur besteht morgens früh von 3 bis 6 Uhr, von da an erfolgt ein langsames Ansteigen der Temperatur, bis abends zwischen 6 und 7 Uhr das Maximum erreicht ist; von da an sinkt die Temperatur wieder bis zum Minimum am frühen Morgen.

Wird der Körper dieser ihre Eigenwärme in einem bestimmten Mittelwerte behauptenden Säugetiere einem starken Wärmeentzug ausgesetzt, so vermag er seine Eigenwärme nicht mehr konstant zu erhalten,



Fig. 59. Vegetationsbild der europäischen Kultursteppe mit einigen Exemplaren der sich gerne am fließenden Wasser ansiedelnden weißblätterigen Weide, Salix alba. (Nach Dr. Hegi.)

sondern dieselbe nimmt entsprechend der Abnahme der Außentemperatur ab. Bei einem gewissen Grade der Abkühlung stellt sich dann — dies ist z. B. vielfach bei uns Menschen beobachtet — eine unüberwindliche erschlaffende Müdigkeit und Schlaf ein. Unter dieser Abkühlung leiden die höchsten nervösen Zentren zuerst und erst bei fortgeschrittener Abkühlung werden auch die für die Erhaltung des Lebens wichtigsten Nervenzentren des Kopfmarks gelähmt, und damit tritt der Tod ein. So lange die letzteren ihre Leistungsfähigkeit noch nicht eingebüßt haben, ist eine Erholung des Erfrierenden noch möglich. So hat man

Digitized by Google

Fälle beobachtet, wo beispielsweise bei Menschen die Körpertemperatur infolge starker Abkühlung auf 24° herabsank und der Betreffende sich dennoch erholte. Ja, es wird sogar ein Fall erwähnt, wo ein Mann bei einer Körpertemperatur von nur 26,7° sein Bewußtsein noch bewahrte, das bei den gewöhnlichen Menschen schon längst vorher verschwunden zu sein pflegt. Umgekehrt ruft eine Erhöhung der Bluttemperatur, z. B. infolge Überhitzung beim sogenannten Sonnenstich oder in fieberhaften Krankheiten, zuerst Störungen des Wohlbefindens und dann des Bewußtseins hervor, während noch die Zentren des Kopfmarks funktionsfähig sind und damit eine Erholung möglich ist. Im allgemeinen kann man sagen, daß der Körper leichter eine Abnahme als eine Zunahme seiner Temperatur erträgt. Schon eine Erhöhung von 2 bis 3° erzeugt sehr schwere Störungen, und höhere Grade bedrohen, sobald sie länger andauern, direkt das Leben, so daß man in diesen Fällen die gefährliche Überhitzung des Körpers bekämpfen muß.

Die, wie bereits erwähnt, im Kopfmarke liegenden Wärmeregulationszentren werden reflektorisch von den Wärme und Kälte empfindenden Nervenenden erregt. Das Vermögen die Körpertemperatur konstant zu erhalten ist aber den Jungen der Säugetiere nicht eo ipso angeboren, sondern wird von ihnen erst erworben. So verhalten sich nicht nur die höchst unentwickelten Jungen der Beuteltiere, sondern auch die hilflos, nackt und mit geschlossenen Augen geborenen Jungen von Warmblütern, wie z. B. Ratten, Kaninchen, Katzen, Tauben und alle Jungen von Nesthockern in ihren ersten Lebenstagen ganz wie kaltblütige Tiere und müssen von ihren Eltern, damit sie nicht erfrieren, gewärmt werden. Erst im Laufe der zweiten Lebenswoche erlangen sie nach und nach das Vermögen, ihre Körpertemperatur in genügender Weise zu regulieren und ihre Blutwärme von sich aus konstant zu erhalten. Auch das Menschenkind hat diese Fähigkeit bei der Geburt noch nicht ganz erlangt; nur die Jungen solcher Tiere, die weiter entwickelt und eines selbständigen Lebens fähig auf die Welt kommen, besitzen sie gleich nach der Geburt.

Diese post-embryonale Entwicklung des Wärmeregulationsvermögens hängt aufs engste mit der zur selben Zeit erfolgenden Entwicklung des neuro-muskulären Apparates zusammen. Denn wenn auch die Quelle der tierischen Wärme in der im Körper vor sich gehenden Verbrennung liegt, die mehr oder weniger in allen Organen stattfindet, so dienen die etwa 40 Prozent des Körpergewichts aus-

Digitized by Google

machenden quergestreiften Muskeln als vorzugsweise Heizkörper. Indem diese elastischen, reich mit Blut durchströmten Eiweißmassen durch den Reiz der sie innervierenden motorischen Nerven, in denen sich die Erregung bei Kaltblütern wie beim Frosch mit 20 bis 26 m pro Sekunde, bei den Warmblütern dagegen wie beim Menschen schneller, nämlich mit etwa 33 m in der Sekunde fortpflanzen, zusammenziehen, führen sie nicht nur die vom betreffenden Träger derselben gewollten Bewegungen aus, sondern sie erzeugen neben der als mechanische Arbeit entwickelten Energie eine bestimmte Wärmemenge; und zwar entwickelt jedes Gramm des Muskels etwa eine Wärmeeinheit. Diese Wärmeeinheit oder Calorie entspricht derjenigen Wärmemenge, welche notwendig ist um 1 kg Wasser von 0° auf 1° C. zu erwärmen.

Da nun die quergestreiften Muskeln nie ganz untätig sind, indem sogar im tiefsten Schlafe das Herz und die Atemmuskeln arbeiten, und im wachen Zustande auch bei Ruhelage die übrigen Körpermuskeln in einem gewissen Grade gespannt sind, so ist leicht einzusehen, daß die Muskeln, die auch bei ihren Zusammenziehungen mehr Wärme als Arbeit liefern, einen sehr großen Betrag der gesamten im Körper erzeugten Wärme produzieren müssen. Ein erwachsener Mann sondert bei Ruhe etwa 30 g Kohlensäure pro Stunde ab, bei körperlicher Bewegung dagegen 130 g und mehr in derselben Zeit. Diese Zunahme von 100 g entspricht einer Verbrennungswärme von 259 Wärmeeinheiten. Angenommen ein Drittel davon werde zur Leistung von Arbeit verwendet, die dem Körper nicht als Wärme zurückgegeben wird, so bleiben zur Erwärmung des Körpers jedenfalls noch 172 Wärmeeinheiten. So kann der Körper des Mannes seine Eigenwärme behaupten, für deren Erzeugung er bei mittlerer Lufttemperatur in 24 Stunden gegen 1800 Wärmeeinheiten braucht.

Je größer nun ein Tier ist, um so leichter kann es seine Wärme behaupten, je kleiner dagegen und je bedeutender infolgedessen die mit der Außenwelt in Berührung kommende Körperoberfläche ist, um so ausgiebiger muß es Wärme produzieren, um seine hohe Eigenwärme in einem kalten Medium behaupten zu können. So produzieren Mensch und Pferd per Sekunde 1,5 Wärmeeinheiten pro kg ihres Körpergewichtes, ein 3 kg schweres Hündchen schon 3,8 Wärmeeinheiten, eine Ratte 11,3 und ein Sperling gar 34,5 Wärmeeinheiten in derselben Zeiteinheit. Es ist also besonders bei warmblütigen Tieren, die in einem kalten Medium leben, eine gewisse Minimalgröße am vorteil-

Digitized by Google

haftesten. Diese wird denn auch von den betreffenden Lebewesen wenn immer tunlich angestrebt, um sich diesen Vorteil zu nutzen zu machen.

Einen beachtenswerten Einfluß auf die Tätigkeit sowohl der Nerven, als auch der Muskeln übt natürlich die Temperatur aus, in der sich dieser Vorgang abspielt. So ist der Muskel der wechselwarmen Tiere, z. B. des Frosches, innerhalb der Temperaturen von -4^0 bis zu $+40^0$ erregbar, und zwar um so erregbarer und rascher sich zusammenziehend, je höher die Temperatur ist. Deshalb begreifen wir, daß die Eidechse, die sich auf dem von der Sonne erhitzten Felsen erwärmt hat, pfeilschnell dahinschießt, während sie in der Kälte sich nur ganz träge verkriecht. So kann auch der Schlangenbändiger ungestraft die in der Kälte halb erstarrte Riesenschlage aus der Kiste nehmen und sich um den Hals legen; denn dieses Tier, das in seiner heißen tropischen Heimat mit der Riesengewalt seiner Rumpfmuskeln den größten Warmblüter mit Leichtigkeit zu erwürgen vermag, um ihn zu verspeisen, gewinnt erst in den gutgeheizten Käfigen der großen zoologischen Gärten die ansehnliche Gewandtheit und Kraft wieder, die ihm unter den natürlichen Lebensbedingungen seiner Heimat innewohnen. Das wissen auch die Wärter, denen sie zur Pflege anvertraut sind, sehr wohl. Keiner derselben würde es wagen, eine solche Schlange anzufassen, bevor die sonst auf 30^0 erwärmten Käfige gehörig abgekühlt und die Lebensenergie der Tiere durch starke Abkühlung gelähmt ist. Schon daraus können wir ersehen, was für eine ungemein große Wichtigkeit das Vermögen, die Körpertemperatur unabhängig vom umgebenden Medium hoch zu halten, für alle Tiere sein mußte, die nicht bei der langsamen Abkühlung der Erdoberfläche ihre körperliche Leistungsfähigkeit und geistige Regsamkeit einbüßen wollten.

Wenn nun auch schon der ruhende Muskel Wärme erzeugt, so ist natürlich wie wir alle an uns selbst merken, diese Wärmeproduktion am arbeitenden Muskel eine sehr viel höhere; deshalb gerät das schwerarbeitende Tier oder der Mensch, namentlich in einer warmen Umgebung, bald in heftigen Schweiß. Diese von den Schweißdrüsen abgesonderte wässerige Ausscheidung, die die verdünnteste aller Körpersäfte darstellt und vorzugsweise Salz- und giftige Abbaustoffe des Eiweißes enthält, soll durch Wasserverdunstung an der Körperoberfläche, die Wärme bindet, also Kälte erzeugt, eine Abkühlung des überhitzten Organismus herbeiführen. Nur bei Tieren, die nicht schwitzen, wie z. B. beim Hund und den Dickhäutern, wird durch beschleunigte Atmung und reichliche Abgabe von Wasserdampf durch die Lungen eine gleiche

Digitized by Google

Abkühlung wie durch das Schwitzen erreicht. Andererseits zittert der Warmblüter, sobald durch zu starke Wärmeausstrahlung in der Kälte sein Körper unterwärmt zu werden beginnt. Durch diese unwillkürlichen rasch aufeinander folgenden Muskelzusammenziehungen sucht sich eben sein Organismus wieder zu erwärmen. Außer den Muskeln kommen als Wärmebildner alle Drüsen und Eingeweide, besonders die Leber in Betracht. Ist doch die Temperatur dieser größten und hochwichtigen Drüse nach Lefèvre beim Hund mehr als 1° höher als die Mastdarmtemperatur.

Im Schlaf beträgt die Wärmeproduktion bei den mittelgroßen Warmblütern, wie z. B. beim Menschen, etwa 24 Wärmeeinheiten pro



Fig. 60. Dünengräser, Elymus arenarius, auf magerem Quarzitsand angesiedelt. (Nach Dr. Hegi).

Kilogramm und Stunde, bei mittlerer Arbeit dagegen 35. Und zwar wird die im Körper gebildete Wärme teils zur Erwärmung des aufgenommenen Futters beziehungsweise Wassers und der eingeatmeten Luft benützt, teils durch Leitung und Strahlung von der Haut abgegeben, teils endlich beim Verdampfen des Wassers in den Luftwegen und an der Körperoberfläche, sowie zum Freimachen der Kohlensäure in den Lungen verwendet. Nicht weniger als 80 Prozent der gesamten Wärmeabgabe geschieht durch die Körperoberfläche. Damit nun dieser Wärmeverlust möglichst gering sei, sind als Isolierschichten und schlechte Wärmeleiter erstens ein Unterhautfettgewebe und zweitens ein Feder- oder Haarkleid ausgebildet. Da letztere Einrichtung nur für luftbewohnende Warmblüter durch die dazwischen liegende ruhende, vorgewärmte Luft

Digitized by Google

einen Wärmeschutz bedeutet, fehlt sie natürlich allen ständig das Wasser bewohnenden Tieren, wie beispielsweise den Waltieren. Diese begnügen sich damit, eine möglichst dicke Fettschicht unter ihrer glatten Haut zu entwickeln, um die darunter liegenden Muskeln und innern Organe thermisch zu isolieren, so daß die im Polarmeer zwischen den Eisblöcken lebenden Wale und Seehunde ihre Körpertemperatur von 35 bis 40° konstant erhalten können, trotzdem sie in einem überaus kalten Medium leben, das zudem noch die Wärme etwa 20 mal besser leitet als die Luft. Indem das Fett spezifisch leicht ist — schwimmt es doch auf dem Wasser — vermindern diese Tiere mit der Speckumlagerung ihres Körpers zugleich ihr Körpergewicht und erleichtern sich damit ganz wesentlich das Schwimmen. Die im eisigen Polargebiete lebenden Luftbewohner dagegen suchen den größeren Wärmeverlust, dem sie ausgesetzt sind, durch eine ausgiebigere Haar- beziehungsweise Fellbekleidung zu verhindern, wie wir fast an der ganzen Körperoberfläche haarlos gewordenen Menschen zum Kälteschutz, wie übrigens auch zum Wärmeschutz, Kleider als schlechte Wärmeleiter anziehen. So können auch sie bei Temperaturen von —50° und mehr ihre hohe Körpertemperatur bewahren.

Die Regulierung der Wärmeabgabe wird durch die Blutgefäße der Haut besorgt, die sich bei Kälte stark zusammenziehen, um die Wärme möglichst zurückzuhalten, bei hoher Außentemperatur dagegen stark erweitern, um so die Wärme besser abgeben zu können und eine Überhitzung des Körpers zu verhindern. Wenn sich die Hautgefäße zusammenziehen, so erweitern sich dafür in gleichem Verhältnisse die Blutgefäße der Baucheingeweide und Muskeln, um nicht nur das dort verdrängte Blut aufzunehmen, sondern auch die hier zur Bekämpfung der nun drohenden zu starken Abkühlung vor sich gehende gesteigerte Wärmeentwicklung möglichst anzuregen.

Die Wärme erzeugende und das Leben unterhaltende Atmung geht bei allen Lebewesen, Pflanzen wie Tieren, die, wie gesagt, nur graduell von einander verschieden sind, im Protoplasma, dem lebenden Eiweiße, vor sich; doch ist das Wechselspiel von Aufbau und Zerfall der Protoplasmamolekeln nicht mit einem Stickstoffverlust verbunden. Wenn z. B. das Wachsen von Keimpflanzen im Dunkeln bei Ausschluß von Licht stattfindet, so erfolgt nicht nur keine Neubildung von Substanz durch Assimilation, sondern ein beständiger Verlust an organischer Substanz, der schließlich mehr als die Hälfte des Anfangsgewichtes der Pflanze betragen kann. Die Pflanze verbraucht eben ihre Stoffe

Digitized by Google

bei der Atmung, aber die Zerstörung infolgedessen erstreckt sich nur auf die stickstofffreie Pflanzensubstanz. Ebenso ist es beim Tier. Man drückt das gewöhnlich mit dem Satze aus, daß nur die Kohlehydrate veratmet werden; denn auch wenn Fett, sei es in der Pflanze oder im Tier, verbrennt, so wird es zuvor in Kohlehydrate verwandelt.

Diesen Verbrennungsprozeß im Protaplasma der Zellen, der das Leben unterhält, bezeichnet man als innere oder intramolekulare Atmung. Der im ersten Abschnitte bereits erwähnte Bonner Physiologe Prof. Eduard Pflüger stellte diese innere Atmung zuerst bei Tieren fest. Es stellte sich nämlich heraus, daß ein Frosch, der sich unter einer mit Quecksilber abgesperrten Glasglocke in vollständig sauerstofffreier Luft befand, dennoch etwa elf Stunden weiterlebte und während dieser Zeit beständig Kohlensäure ausatmete. Da nun diese Kohlensäure ohne Sauerstoffzutritt von außen gebildet worden war, so mußte der Sauerstoff notwendigerweise der Körpersubstanz des Frosches entstammen. Deshalb wurde diese nur durch molekulare Änderungen der organischen Substanzen des Froschkörpers zustande gekommene Atmung als innere oder intramolekulare bezeichnet.

Denselben Vorgang innerer Atmung beobachten wir aber auch an Pflanzen. So können keimende Pflänzchen tagelang in einer sauerstofffreien Atmosphäre verweilen und dabei Kohlensäure ausatmen, ohne daß sie von außen Sauerstoff erhalten. Die Pflänzchen stellen zwar dabei ihr Wachstum ein, bleiben aber während der angegebenen Zeit lebendig und wenn man sie nachträglich in die Erde pflanzt und in normale Bedingungen bringt, so fangen sie wieder an zu wachsen und gedeihen, als ob nichts mit ihnen geschehen sei.

Mißt man nun die durch intramolekulare Atmung von Keimpflanzen in einem luftleeren Raume erzeugte Kohlensäure, so ergibt sich, daß die Pflanzen in den ersten Stunden eines solchen Versuchs ebenso viel Kohlensäure liefern, wie bei der normalen Atmung entstanden wäre. Allein, schon nach wenigen Stunden nimmt diese Menge bedeutend ab. Es kann also auch die Pflanze nicht längere Zeit ohne Zutritt des Sauerstoffs atmen, d. h. der atmosphärische Sauerstoff ist zwar für die Auslösung der Atmung entbehrlich, aber unentbehrlich zur dauernden Unterhaltung derselben, welche eben das Leben ermöglicht. Nur einige wenige Bakterienarten, die man deshalb als anaërobe bezeichnet, sind imstande auf die Dauer ohne Sauerstoffzufuhr zu leben und zu gedeihen. Aber auch sie oxydieren und verbrauchen Sauerstoff; bloß gewinnen sie diesen Sauerstoff durch moleku-

Digitized by Google

lare Spaltung aus gewissen sauerstoffhaltigen Verbindungen und bedürfen deshalb keiner Sauerstoffzufuhr von außen, können also ganz gut auch in einem vollkommen sauerstofffreien Medium leben.

Tritt nun während der intramolekularen Atmung freier Sauerstoff hinzu, so werden die durch den Lebensprozeß bedingten Zersetzungsprodukte weiter oxydiert und unschädlich gemacht. Der Zweck der Atmung ist also der, dem Organismus die bewegenden Kräfte zu liefern, welche das Leben ermöglichen. Damit Kräfte frei werden, um die träge Materie in Bewegung zu setzen und darin zu erhalten, wird beständig eine gewisse kleine Menge des Stoffes zerstört. Aber den durch die Atmung bedingten dauernden Stoffverlust ersetzt die Pflanze reichlich durch ihre Fähigkeit der Assimilation, die es ihr ermöglicht, mit Hilfe der Energie der Sonnenstrahlung über ihren eigenen Bedarf hinaus Stoffe aufzubauen. Dadurch ist sie die Voraussetzung und Grundbedingung alles tierischen Lebens. Erst als sie geschaffen war, konnte tierisches Leben anheben und seinen besonderen Entwicklungsgang beginnen.

Digitized by Google

IV.

Die Funktionen des Lebens.

Alle die überaus mannigfaltigen Lebensformen, die uns heute in der Schöpfung entgegentreten, sind nicht von Urbeginn der Schöpfung an dagewesen. Sie sind vielmehr als das Endprodukt einer Entwicklung nach und nach entstanden. Diese letztere umfaßt wohl gegen tausend Millionen Jahre und ist noch lange nicht zu Ende geführt; denn sie wird erst dann überhaupt ein Ende nehmen, wenn die Lebensbedingungen auf Erden durch Erlöschen der Sonne vollkommen aufgehört haben werden und die ganze Schöpfung in Kälte und Dunkelheit erstorben sein wird. Dann wird die Erde leblos der erkaltenden Sonne zustreben und in feurigem Brande mit ihr vereinigt ein neues Sternendasein beginnen.

Höchst einfach trat das Leben in die Erscheinung als ein, wie bereits gesagt wurde, unsern Augen, selbst wenn sie in jener Urzeit des Werdens schon hätten sehen können, unsichtbares winziges Klümpchen lebenden Eiweißes. In dem formlosen Protoplasma bildeten sich nach und nach Organe aus und es kam zur Bildung von immer höher organisierten, aber dabei stets noch mikroskopisch kleinen einzelligen Lebewesen, die vom Meeresstrande aus die Hochsee, soweit sie sonnendurchleuchtet war, bevölkerten und sich mit der Zeit auch das Brackwasser und endlich durch dessen Vermittlung auch die salzlosen „süßen" Wässer der Erde eroberten.

Diese Einzeller, die sich mit der Zeit in die selbständig im Sonnenlichte assimilierenden Protophyten oder Urpflanzen und in von jenen lebenden Protozoen oder Urtiere schieden, pflanzten sich zunächst stets nur auf ungeschlechtlichem Wege durch einfache Teilung fort, wie wir sie bereits kennen gelernt haben, und erst später wurde als wichtiges neues Lebensprinzip die Vereinigung zweier verschiedener

Digitized by Google

Individuen derselben als sogenannte geschlechtliche Fortpflanzung eingeführt. Bei dieser Kopulation flossen die beiden Einzeller mit ihrem Protoplasma und Kern zu einem einzigen Wesen zusammen, das dann ein besonderes Vermögen besaß, sich wiederholt zu teilen. Weiterhin bildete sich eine immer weitergeführte Differenzierung der beiden kopulierenden Zellen aus, indem die eine Zelle als weibliche immer größer und weniger beweglich und die andere zur Ausführung der Kernverschmelzung, auf die es nun hauptsächlich ankam, immer kleiner und dafür um so beweglicher wurde.

Auf einer gewissen Entwicklungsstufe ergab es sich von selbst, daß verschiedene Individuen derselben Art sich zu gegenseitigem Schutze zu

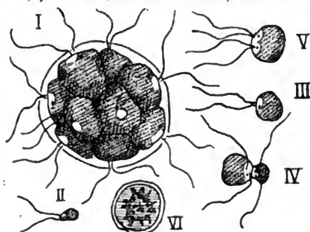


Fig. 61. I Eine kugelige schwärmende Kolonie von Pandorina morum aus 16 Zellen bestehend, deren jede mit zwei Geißelfäden sich an der Fortbewegung beteiligt. Der schwarze Punkt ist das Licht empfindende Organ. II Kleiner männlicher Gamet (Mikrogamet), III großer weiblicher Gamet (Makrogamet), IV beide in Copulation begriffen, V die Vereinigung derselben ist weiter fortgeschritten, VI die Gamospore hat sich mit einer festen Hülle umgeben und ruht als Dauerspore eine zeitlang, bis sie eine neue Kolonie von 16 beieinanderbleibenden Individuen hervorgehen läßt. (500fach vergrößert.) Nach Pringsheim.

einer als Zellfamilie zu bezeichnenden Vereinigung zusammentaten und so die Vorstufen von einer unendlich viel höhere Leistungen durch allmählich eingeführte Arbeitsteilung unter den einzelnen Gesellschaftern ermöglichenden Organismen bildeten. So gibt es heute noch auf dieser niedrigen Stufe der Vergesellschaftung verharrende Einzeller, wie z. B. die Volvoxarten, die einen einzigen grünen Chromotophor ausbilden und mit Hilfe von zwei bis sechs Cilien oder Ruderfäden frei im Wasser umherschwärmen. Diese, die teilweise, wie die bereits von uns kennen gelernte, den „roten Schnee“ verursachende Sphaerella nivalis zur Umwandlung der längeren Wärmewellen des Sonnenlichtes in die kurzen, zur Assimilation benötigten Lichtstrahlen ihren grünen Chlorophyllapparat durch einen roten Farbstoff, das Hämatochrom, verdeckt haben, bildeten zuerst kleinere und dann immer größere Zellvereinigungen. So wurde aus einer einzelnen Sphaerella — z. B.

Digitized by Google



Sumpfvegetation. Im Vordergrund und links hinten fruchtende Rohrkolben, Typha, dessen mit Flugapparat versehene Samen durch den Wind verbreitet werden, rechts Algenrasen. (Nach M. Gerlach.)

Digitized by Google

Sph. pluvialis, die sich häufig in Wasserlachen und stehenden Gewässern in solcher Menge entwickelt, daß das Wasser von ihr rot gefärbt erscheint — eine von vier bis sechszehn gleichartigen Individuen gebildete, von einer von allen Genossen gemeinsam ausgeschiedenen Gallerthülle geschützte, mehrzellige Form, die man als Gonium sociale bezeichnet.

Eine ähnliche solche freiwillig entstandene und zur Gewohnheit gewordene und deshalb nach bestimmten Regeln erfolgende Vereinigung gleichartiger Zellen, die es noch nicht zum streng organisierten Zellverbande — einem weit höheren Zustande — brachten, stellt die Alge Pandorina dar. In ihr sind bereits 16, in der ihr nahe verwandten Eudorina regelmäßig sogar 32 Individuen der gleichen Art zu einer grünen Hohlkugel vereinigt, die in einer schleimigen, ebenfalls von allen Gesellschaftern gemeinsam ausgeschiedenen Gallerthülle steckt und, durch die Ruderfäden der einzelnen Mitglieder vorwärts bewegt, durch die oberflächlichen, vom Lichte durchströmten Wasserschichten dahinrollt.

Die Vermehrung dieser, erst eine Vorstufe zu der eigentlichen Organismenbildung darstellenden Zellkolonien erfolgt noch ganz nach dem einfachen, uralten Prinzip der ungeschlechtlichen Zellteilung. Jede Zelle der Pandorina zerfällt in 16, jede solche der Eudorina dagegen in 32 neue Zellen, also genau in dieselbe Anzahl, aus welcher auch die Mutterkolonie bestand. Dann löst sich der ganze Verband auf, die einzelnen Gesellschafter, die bis dahin gemeinsam beieinander, aber jeder selbständig für sich lebten, gehen auseinander. Nun teilt sich jede einzelne Zelle bis die betreffende Zahl von Genossen, die eine geschlossene Einheit bilden, beieinander ist. Diese wachsen bald heran und umgeben sich wieder mit einer gemeinsamen Gallerthülle; damit sind aus der Mutterkolonie ebenso viel neue Tochterkolonien entstanden als jene ursprünglich Genossen zählte.

Solche regelmäßig entstehenden Vergesellschaftungen gleichartiger Individuen zu einer gemeinsamen Lebens-, Bewegungs- und Wohngenossenschaft, in der von Arbeitsteilung noch nicht die mindeste Andeutung zu finden ist, gingen zunächst immer weiter, bis schließlich ganz ordentliche Zellanhäufungen entstanden, die wir schon mit unbewaffneten Augen, d. h. auch ohne künstliche Verstärkung derselben durch ein Vergrößerungsglas erkennen könnten. Eine solche ist beispielsweise die 200 bis 22000 gleichartige Zellen umfassende Volvoxkolonie, die als ein kleines Kügelchen durch unsere Gewässer auf- und abrollt. Diese der Organismenbildung allernächste Vorstufe der Vergesellschaftung von Einzellern, von denen jeder zunächst noch

Digitized by Google

selbständig lebt, schnürt nach innen zu Teile ihrer selbst als Tochterkolonien ab, die sich weiter vermehren, ohne daß die Einzelzellen aus dem Genossenschaftsverbande austreten. Bei manchen Formen derselben ist aber der erste Anfang einer Arbeitsteilung dadurch eingeführt, daß eine solche Volvoxkugel nicht mehr allseitig gleich geartet ist, sondern einen vordern und einen hintern Pol ausbildet. Der vordere ist dann der Sinnespol, dessen Mitglieder die Außenwelt auszukundschaften haben, die die Wasserwärme empfinden, die das Licht suchen, die die Reize von außen empfangen und die ganze Kolonie geistig regieren, während die Mitglieder des hinteren oder Geschlechtspoles, den Reizen der Außenwelt durch ihre ruhigere Lage abgewandt ausschließlich die Aufgabe der Fortpflanzung übernehmen.

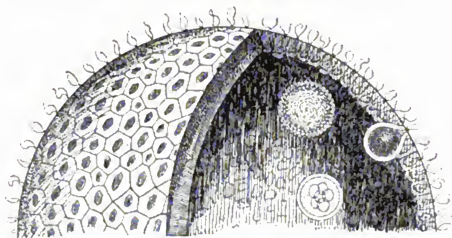


Fig. 62. Schnitt durch eine Kugel von Volvox globator mit einer sich nach außen entleerenden Eizelle, daneben ein Spermatozoidenbündel und darunter Eizellen in Teilung. (Stark vergrößert.)

Während bei der geschlechtslosen Vermehrung solcher Vergesellschaftungen von Einzellern durch fortgesetzte Teilung der einzelnen Zellen zunächst ein Haufen von meist 32 Tochterzellen entsteht, die anfänglich in einer Ebene liegen, die sich nachträglich schalenförmig vertieft und schließlich zu einer neuen Hohlkugel zusammenbiegt, worauf die Zellen der Kolonie ihre inzwischen ausgebildeten Ruderfäden schwingen lassen, um sich aus der Gallerthülle der Mutterkolonie herauszuarbeiten und ein selbständiges Leben zu führen, treten bei den Zellen einer Kolonie, die zur geschlechtlichen Fortpflanzung weitergeschritten ist, auffallende Differenzierungen auf, indem sich in einer 32zelligen Tochterkolonie die vier Endzellen zu männlichen Geschlechtszellen, die übrigen 28 zu weiblichen Zellen umgestalten. Ja, in zahlreichen Fällen wird die Differenzierung noch weiter getrieben, indem eine Tochterkolonie sich

Digitized by Google

durchweg zu männlichen und die andere zu weiblichen Zellen ausbildet. Die ersteren sind bei Volvox gelblich und zerfallen durch fortgesetzte Teilungen nach zwei Richtungen des Raums in 8 bis 256 winzige, birnförmige Spermatozoiden, deren farblose Spitzen zuletzt in je zwei Cilien oder Ruderfäden auslaufen. Die letzteren, d. h. die weiblichen Zellen sind dunkelgrün, weichen nur sehr wenig von den gewöhnlichen vegetativen Zellen ab und bilden je eine große Oosphäre. Sind die mit Hilfe ihrer Ruderorgane schnell durch das Wasser hinschießenden Spermatozoiden dazu gelangt, eine Oosphäre aufzufinden, so bohrt sich der erste glückliche Samenfaden in die gereifte Eizelle hinein, es tritt eine Kernverschmelzung ein und damit ist die Befruchtung vollzogen. Alsbald darauf verwandelt sich die Oosphäre in eine Oospore, indem das bis dahin hüllenlose Protoplasma sich mit einer starken Membran umgibt und zuletzt einen rotgefärbten Inhalt erhält. Wenn dann die Oospore nach kürzerer oder längerer Ruheperiode keimt, wird eine neue Zellkolonie mit zuerst 32 Zellen gebildet, ganz wie wir dies vorhin bei der ungeschlechtlichen Vermehrung kennen gelernt haben.

Solche Koloniebildung einzelliger Wesen, die wir auch bei chlorophyllfreien, also wie Tiere lebenden Einzellern, den Protozoen, finden, indem auch bei ihnen die durch die Teilung entstandenen Individuen mit strangförmigen Protoplasmafäden im Zusammenhange bleiben und so einen vollkommen einem Metazoon oder Vielzeller entsprechenden, aus oft vielen Einzelindividuen zusammengesetzten Tierstock oder Tierstaat beziehungsweise Pflanzenstaat bilden, führte nun ganz von selbst zur Bildung mehrzelliger Organismen, zur Entstehung von Zellenanhäufungen, deren Mitglieder auf eigene Selbständigkeit verzichtend in einem freiwilligen Gesellschaftsverband ihr Leben lang verharren, um in gegenseitigem Schutz- und Trutzbündnis nicht nur größere Sicherheit nach außen, sondern durch eine immer weiter durchgeführte Arbeitsteilung der einzelnen Genossenschafter untereinander eine immer größere Leistungsfähigkeit nach innen zu erlangen.

Der vorhin besprochene erblich gewordene Zellenstaat Volvox stellt uns handgreiflich vor Augen, wie in der Urzeit aus einer fakultativen Kolonie einzelliger Lebewesen eine obligatorische Zellenvereinigung zu metameren, d. h. verschiedene Organe ausbildenden vielzelligen „Organismen“ wurde. Nachdem die Lebewesen zu diesem fundamentalen Fortschritte gelangt waren, gaben sie diese Neuerung nicht mehr auf, sondern die aus der Teilung einer einzigen hervorgegangenen Zellen blieben als festgeschlossene Einheit beieinander, um sich immer spezieller in

Digitized by Google

bestimmte Gewebe mit besonderen Funktionen zu differenzieren. So gab es verdauende, atmende, die Fortbewegung, wie die Fortpflanzung besorgende, reinigende, schützende, beobachtende und leitende Zellgruppierungen, aus denen in aufsteigender Kompliziertheit alle höheren Lebewesen, seien es Pflanzen, seien es Tiere hervorgingen.

Bei den ersteren trat die Funktion der Assimilation in den Vordergrund, und dieser einen Hauptfunktion wurden alle andern untergeordnet. Bei letzteren dagegen, die erstere für sich arbeiten ließen, um von deren erworbenem Gute zu leben, konnte der Lebensprozeß sich um so energischer betätigen, die Atmung und damit auch die Oxydation wurden lebhafter, mit dem sich immer mehr vervollkommenden Vermögen der Ortsveränderung, um die Beute leichter aufzusuchen und allen Bedrohnissen und den nach dem eigenen Leben trachtenden Feinden besser auszuweichen, wurde das Sinnesleben ein reicheres und damit eine geistige Entwicklung angebahnt, wie sie die Pflanzen nicht entfernt vermöge ihrer abstumpfenden, in bodenständiger Isolierung für die Allgemeinheit Sonnenenergie sammelnden Fähigkeit erlangen konnten.

Indem die Pflanze in starrer Ruhe ihrem Assimilationsgeschäfte oblag, bildete sie zur Stütze der Zellenaggregate eine besondere Verdickung ihrer Zellwände aus, durch Ausscheidung von Cellulose oder Zellstoff, einer genau dieselbe chemische Zusammensetzung wie das Stärkemehl ($C_6H_{10}O_5$) aufweisenden Substanz, durch welche immerhin noch feine Gänge in den sogenannten Tüpfeln eine Kommunikation zwischen den verschiedenen Zellenleibern ermöglichten, aber lange nicht jene maximale Konzentration der verschiedenen Organtätigkeiten in besonderen Zentren erlaubten, die mit der Zeit zu höchster Leistungsfähigkeit führen mußte. Die Pflanzenzellen erhielten somit versteifte Wände, während die Tierzellen nach wie vor hüllenlos geschmeidig und damit in einem viel innigeren Kontakt untereinander blieben. Natürlich mußten auch in ihnen, je größer die Zellenstaaten wurden, die sie bildeten, allerlei Leitungssysteme entsprechend dem bereits besprochenen Blutgefäßsysteme im Tiere geschaffen werden. Damit das von den Wurzeln aufgesogene, mit Nährsalzen getränkte Wasser zu den assimilierenden Organen, den flächenhaft ausgebreiteten, einen schwammigen, die Luft allseitig zur Kohlensäureentnahme und Sauerstoffabgabe an die chlorophyllhaltigen Zellen herantretenlassenden Aufbau aufweisenden Blättern gelangen und auch die plastischen Bildungsstoffe von den assimilierenden Organen überallhin nach den Verbrauchsstellen gebracht werden könne, ist die Pflanze von einem besonderen Leitungssysteme

durchzogen. Die dazu verwendeten Zellen sind, um alle Bewegungshindernisse auf ein möglichst geringes Maß einzuschränken, möglichst langgestreckt, ihre Querwandungen führen reichlich Tüpfel, die oft sogar zu wirklichen Löchern, zu Poren werden. Diese Leitungsbahnen liegen in Bündeln zusammen, die alle Teile der Pflanze in gleicher Weise durchziehen und als Gefäßbündel bezeichnet werden. Und zwar wandert das Wasser mit den Nährsalzen ausschließlich in den

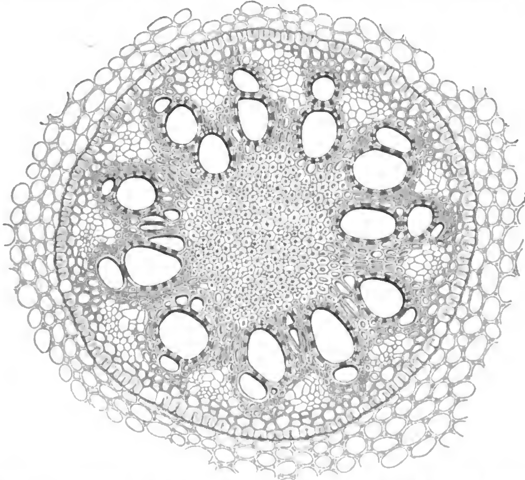


Fig. 63. Querschnitt durch die Wurzel einer monokotylen Pflanze. Der Holzkörper mit den geschlossenen Gefäßbündeln ist von einer schützenden Korkschicht umgeben. (Nach Dr. Hegi.)

Gefäßen und Tracheïden, die in ihrer Gesamtheit den Holzkörper darstellen, während die plastischen Bildungsstoffe durchweg in den Siebröhren nach den Stellen des Verbrauchs fortgeleitet werden. Erstere sind meist nach der Stengelmitte zu, letztere dagegen als weiche Partien nach außen hin um sie herum gelagert. Das ganze Bündel ist dann sehr häufig noch von die Leitungszellen schützenden und die Biegungsfestigkeit des ganzen Stengels erhöhenden mechanischen Strängen, den Stereomsicheln oder Stereomcylindern umgeben.

Digitized by Google

Während die ältesten Pflanzen ein Dickenwachstum durchaus nicht kannten, so wie ein solches auch heute noch bei den altertümlicheren Monokotyledonen oder Einkeimblätterigen nur sehr selten und dann in einer Weise vorkommt, die von den bei den fortschrittlicheren Dikotyledonen oder Zweikeimblätterigen und den Gymnospermen oder Nacktsamigen weitverbreiteten stark abweicht, ist ein solches Vermögen erst verhältnismäßig spät erworben worden. Bei den Farnen und Monokotyledonen erreichen die aus hartem und weichem Leitungsgewebe bestehenden sogenannten Mestom-, d. h. Füllgewebebündel nach einiger Zeit des Wachstums eine endgültige Ausbildung, welche nicht mehr verändert wird. Man bezeichnet sie deshalb als geschlossene Bündel im Gegensatz zu den offenen Bündeln der Dikotyledonen und Gymnospermen, bei welchen zwischen dem harten Gefäßteil und dem weichen Siebteil ein besonderes Bildungsgewebe, das Kambium, vorhanden ist. Dieses letztere ist zwischen dem holzigen Gefäßteil und dem weichen Siebröhrenteil eingelagert und besteht aus sehr zartwandigen, inhaltsreichen Zellen, die stetsfort sich teilend nach beiden Seiten abgeschieden werden und sich sowohl dem holzigen Gefäßteil, als auch dem weichen Siebteil angliedern. Indem so beständig nach allen Seiten neue Zellen abgespalten werden, wächst der Stamm gleichmäßig in die Dicke, wobei die alten, abgestorbenen Gefäßteile des Kernholz, im Gegensatz zum lebenden und funktionierenden Splint bilden und die außer Funktion gesetzten toten Siebteile die Rinde, im Gegensatz zum lebenden und funktionierenden Baste bilden.

Wie das Leitungssystem der Pflanze zwischen dem in den Wurzeln ausgebildeten Absorptionssysteme zur Aufnahme des Wassers mit den darin gelösten Nährsalzen und dem durch den Gehalt des Chlorophylls ausgezeichneten Assimilationssysteme in den Blättern die Verbindung herstellt, so bildet die Pflanze noch besondere Speichergewebe aus, in denen sie die von ihr durch Assimilation im Überschuß gewonnenen Nahrungs- und Baustoffe vorsorglich für kommende Zeiten aufspeichert. Solche Speichergewebe mit oft sehr reichem Inhalte an Stärkemehl, Zucker, Zellstoff, Ölen und Eiweiß sind vor allem in Wurzeln, Knollen, Zwiebeln und Samen, oft aber auch in den Stämmen, Stengeln und Blättern in Form kugeliger, gegeneinander abgeplatteter Parenchymzellen ausgebildet.

Während bei den einjährigen Pflanzen der gesamte erworbene Vorrat an Nährstoffen in das Endosperm der Samen wandert, wo er

Digitized by Google

den verschiedenen Keimlingen zum Lebensunterhalte dient, bis sie selbständig im Lichte zu assimilieren vermögen, wandert derselbe bei den mehrjährigen Pflanzen in die meist unterirdisch vor den Blicken der gierig darnach suchenden Tiere verborgenen und vor der Winterkälte geschützten Reservoire. Bei den Pflanzen mit verholzenden Stämmen ist die Aufbewahrungsstätte dieser Reservenahrung der Holzkörper, soweit er nach außen zu noch lebend ist. Vom Augenblicke an, da die Laubblätter der Bäume ausgewachsen sind, fließt bis zum herbstlichen Laubfalle ein ununterbrochener Strom von Assimilationsprodukten, besonders Glykose oder Traubenzucker von den Blättern nach den Ästen und dem Stamm herab. Die den Tag über in den grünen Zellen, die sie bereiteten, aufgespeicherte unlösliche Stärke wird durch ein Ferment in löslichen Traubenzucker verwandelt, der durch die langgestreckten Parenchymzellen der Blattnerven und durch das Rindenparenchym in der Pflanze herabsteigt, um zuletzt in horizontaler Richtung in das Holz hinein zu diffundieren, wo er ebenfalls durch ein Ferment in Form von unlöslicher Stärke oder Fett aufgestapelt wird. Solche Stärkebäume sind die hartholzigen wie Eiche, Buche, Kirsche usw., während die Fettbäume mehr weichholzige Arten wie Nadelhölzer, Birken und Linden umfassen. Der Beginn des Laubfalls bezeichnet für den Baum den Zeitpunkt, in welchem er die größte Menge von Assimilaten enthält. Von da an bis zum Beginn der nächsten Vegetationszeit findet eine fortdauernde Abnahme derselben durch Atmung statt, bis der letzte Rest der angehäuften Stoffe am

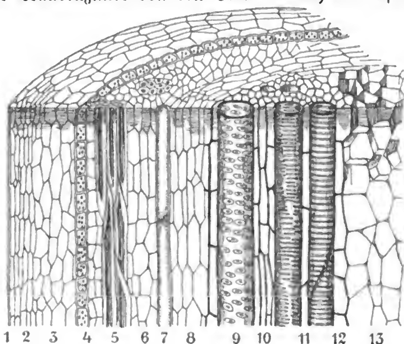


Fig. 64. Ausschnitt aus dem Zweige eines Laubholzes (schemat., 120fach vergr.) 1 Oberhaut (Epidermis), 2 Kork (Periderm), 3 Rindenparenchym, 4 Gefäßbündelscheide, 5 Hartbast, 6 Bastparenchym, 7 Siebröhre, 8 Cambium, 9 getüpfeltes Gefäß, 10 Holzparenchym, 11 Gefäße, 12 Markscheide, 13 Mark.

Digitized by Google

Schlusse des Winters, bevor noch äußerlich sichtbare Veränderungen an der Pflanze vor sich gegangen sind, in die Knospen geführt werden. Diese entfalten sich mit beginnender Wärme rasch und lassen die Blüten und Blätter sprossen, in welch letzteren wiederum in mit der Sonnenhöhe und den längeren Tagen zunehmender Intensität durch den Assimilationsprozeß neue Stärke gewonnen wird, um den Überschuß derselben abermals zum Verbrauche für die blatt- und damit assimilationslose Zeit in den Reservespeichern einzumagazinieren.



Fig. 65. Crocus reticulatus, eine Steppenpflanze mit zierlichem, festem Skelett der obersten Hüllblätter der Zwiebel, die als Wasserreservoir für die Trockenzeit dient.

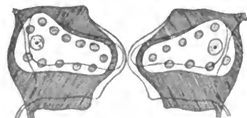


Fig. 66. Mechanismus beim Öffnen und Schließen der Schließzellen an der Spaltöffnung eines Blattes. (Sehr stark vergrößert.)

Zu den besonderen Geweben zur Aufstapelung von der Pflanze im Laufe ihrer Entwicklung nötigen Stoffen gehören auch die Speichergewebe für Wasser, welche wir bei zahlreichen Pflanzen trockener Standorte besonders in den Blättern ausgebildet finden. In ihnen wird das in der Regenzeit gesammelte Wasser, damit es möglichst wenig verdunsten könne, vollständig mit Schleim durchtränkt aufgestapelt und während der Zeit der Dürre sparsam nach und nach verbraucht, wobei die einst prall gefüllten Zellen mehr und mehr zusammenfallen. Durch solche Speichergewebe in den assimilierenden Organen, seien es Blätter oder Stengel, sind namentlich alle Succulenten oder Fettpflanzen ausgezeichnet. Die charakteristischen Vertreter derselben sind in Zentralamerika die Kakteen und in Südafrika die succulenten Euphorbien, die beide durch Konvergenz, ohne die geringste Verwandtschaft miteinander zu besitzen, doch vielfach eine sehr große Ähnlichkeit aufweisen.

Endlich ist die ganze Pflanze von sogenannten Intercellular-

Digitized by Google

oder Zwischenzellräumen durchzogen, durch welche der beim Atmungsprozeß benötigte Sauerstoff zu allen seiner bedürftigen lebenden Zellen ein- und die abgeschiedene Kohlensäure austreten kann. Besonders stark sind natürlich diese luftführenden Zwischenzellräume im sogenannten Schwammparenchym an der Unterseite der Blätter ausgebildet, in welche hauptsächlich die zahlreichen Spaltöffnungen führen. Eine jede solche Spaltöffnung besteht aus zwei, im Gegensatz zu den übrigen nach außenhin meist sehr dickwandigen und stets chlorophyllfreien Epidermiszellen, jeweilen chlorophyllhaltigen Zellen von halbmondförmiger Gestalt mit einander zugekehrten Hörnern. Man bezeichnet diese beiden Zellen als Schließzellen, weil sie mit der Fähigkeit begabt sind, je nach den Bedürfnissen der von ihnen versorgten Zellpartien und zunehmender Trockenheit oder Feuchte der um-

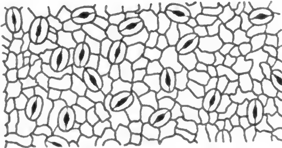


Fig. 67. Spaltöffnungen in ihrer gewöhnlichen Verteilung auf der Unterseite eines Blattes. (Stark vergrößert.)

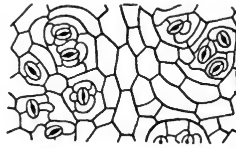


Fig. 68. Spaltöffnungen in Gruppen auf der Unterseite eines Begonienblattes.

gebenden Luft, den von ihnen umschlossenen Spalt zu schließen oder zu öffnen. Von diesem Spalte gelangt man zunächst zu einem besonders ausgedehnten Interzellularraum, der sogenannten Atemhöhle, von der aus die Luft sich allseitig in die engen Zwischenzellräume zwischen den chlorophyllhaltigen Zellen des Schwammparenchyms ausbreitet.

Solange von den Wurzeln aus der Pflanze genug Wasser zugeführt wird, stehen diese Spaltöffnungen weit geöffnet und lassen den Wasserdampf in großen Mengen abziehen; sobald aber diese Wasserzufuhr abnimmt und der Turgor, d. h. die Saftspannung der Zellen nachläßt, so schließen sich dementsprechend die Spaltöffnungen und verhindern dadurch eine weitergehende Wasserverdunstung. Sie sind also gleichsam die Ventile, durch welche die Pflanze ihren Wasserverbrauch der jeweiligen Zufuhr automatisch anpaßt. Wenn sie auch winzig klein sind — sie haben einen Durchmesser von etwa 0,0005 mm — so er-

Digitized by Google

setzen sie diesen Umstand durch ihre große Zahl; denn auf den Quadratmillimeter Blattfläche entfallen durchschnittlich 100 solcher Poren, doch steigt ihre Zahl bei manchen Gewächsen an feuchten Standorten bis auf 600 und 700 auf demselben Raum. Ein mittelgroßes Weißkohlblatt hat ihrer etwa 10 Millionen, ein Blatt der Sonnenblume etwa 13 Millionen.

Den Gegensatz zu diesem von Lufträumen reich durchzogenen Schwammparenchym der unteren Partien der Blattflächen, in welchem die nur äußerst schwach mit Kohlensäure versehene Luft möglichst ausgiebig zu zirkulieren hat, um diesen für den Assimilationsprozeß so kostbaren Stoff möglichst vollständig an die davon umspülten grünen Zellen abgeben zu können, bildet die aus langgestreckten, in regelmäßigen

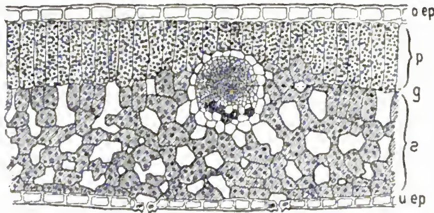


Fig. 69. Teil des Blattquerschnittes von Ligustrum coriaceum: oep Epidermis der Blattoberseite, p Palisadenparenchym, g Gefäßbündeldurchschnitt, s Schwammparenchym, uep Epidermis der Blattunterseite. (Stark vergrößert.) Nach Giesenhagen.

Reihen ohne Luftgänge und Spaltöffnungen nebeneinander gestellten, besonders stark chlorophyllhaltigen Zellen bestehende oberste Zelllage, das Palisadenparenchym, das seinen Namen daher führt, daß im Blattdurchschnitte die von oben nach unten aufrecht gestellten, schmalen, langen Zellen wie eine aus Pfählen errichtete Palisade erscheinen. Weil nun dieses Palisadengewebe eine geschlossene, aus besonders stark chlorophyllhaltigen Zellen bestehende Schicht bildet, erscheint die Oberseite des Blattes schon dem bloßen Auge stark dunkelgrün, während die viel weniger chlorophyllhaltige, dagegen stark von Lufträumen durchzogene Schwammschicht der Unterseite heller grün gefärbt erscheint. So enthält ein Quadratmillimeter eines Ricinusblattes in der Palisadenschicht etwa 400 000, in der reichlich luftführenden Schwammschicht

dagegen bloß 90000 Chlorophyllkörper. Nur verhältnismäßig selten, so besonders bei stielrunden Blättern, bei welchen infolge der überaus leichten Drehbarkeit der Blätter keine eigentliche Wagerechtstellung der Blattflächen durchgeführt wird, ist diese strenge Scheidung in eine besonders ausgebildete Ober- und Unterseite nicht vollzogen, sondern hier überwiegt je nach Umständen ein palisadenförmiges oder ein schwammähnliches Blattparenchym; denn die Natur kennt nirgends starre Gesetze, überall richtet sie sich nach den besonderen Verhältnissen und wendet das in jedem Falle Zweckdienliche an.

Aus den Durchlüftungsräumen, die die Pflanzen ganz durchsetzen, entweicht auch der bei der im vollen Sonnenlichte bei genügender Wasserzufuhr starken Transpiration ausgeschiedene Wasserdampf und die bei manchen Xerophyten, d. h. mit Trockenheit kämpfenden Pflanzen, wie sie besonders die mittelländische Flora kennzeichnen, ausgeschiedenen Dämpfe von ätherischen Ölen und anderen flüchtigen Stoffen. Reiche lufthaltige Intercellularräume sind besonders auch bei den aus der Luft rückläufig ins Wasser übergegangenen Sumpf- und Wasserpflanzen ausgebildet. Ebenso ist an den Stengeln aller ausdauernder Gewächse, die eine Borke bilden, in welcher für Wasser undurchlässige Zellen sehr bald ihren lebenden Inhalt verlieren und infolgedessen keine Spaltöffnungen bestehen können, zur besseren Durchlüftung der darunterliegenden Gewebe eine besondere Einrichtung getroffen. Es sind dies die oft mit bloßem Auge an der Stengelrinde wahrnehmbaren Lenticellen oder Korkwärzchen, die aus einem sehr lockeren Parenchymgewebe bestehen, zwischen dessen kugelförmigen Zellen große Lufträume den Gasaustausch zwischen der atmosphärischen Luft und dem Pflanzeninnern gestatten und vermitteln.

Welche Rolle die ausgiebige Durchlüftung der Pflanze durch die Zwischenzellgänge spielt, kann man leicht bei der Assimilation ermessen, bei welcher an einem Sommertage von 15 Stunden per Quadratmeter Blattfläche etwa 25 g Stärkemehl in den Chloroplasten erzeugt werden, wovon allerdings gleichzeitig 1 g Stärkemehl durch die Atmung der assimilierenden Pflanze verbraucht wird, so daß nur 24 g als Reingewinn für die Pflanze erzielt werden. Da durch das Verdunsten von Wasser bei der Transpiration das Blatt stets etwas kälter als die umgebende Luft ist, fließt letztere durch die obersten Spaltöffnungen ein und tritt nach dem Durchströmen der nächsten Intercellulargänge an Kohlensäure ärmer, aber an Sauerstoff und Wasserdampf reicher unten aus. Da nun in 10000 l atmosphärischer Luft nur 2 l Kohlen-

Digitized by Google

säure enthalten sind, so muß 1 Quadratmeter Blattfläche, um in der Stunde 1,5 g Stärke produzieren zu können, von 6670 l Luft durchströmt werden, wobei die Geschwindigkeit derselben viel geringer als 3—4 cm in der Sekunde ist.

Auch sonst sind die Zwischenzellgänge bei allen möglichen Prozessen von Bedeutung. So kommt beispielsweise das Weichwerden der Äpfel bei der Reife daher, daß die ursprünglich sehr engen Intercellularspalten so bedeutend werden, daß die Zellen im Fruchtfleische fast getrennt nebeneinander liegen. Wird eine Kartoffel gekocht, so quellen die in ihr enthaltenen Stärkekörnchen durch Wasseraufnahme, wodurch sie verkleistern, stark auf, drücken mit großer Kraft gegen die Zellwände und bewirken so, daß die Intercellularspalten bis zur völligen

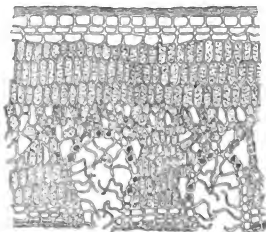


Fig. 70. Querschnitt durch das Blatt des Oleanders, Nerium Oleander. An der Oberseite ist die Cuticula verdickt und durch Verwandlung des Zellstoffs in Korkstoff für Wasser und Wasserdampf nahezu undurchlässig gemacht. An der Unterseite finden sich die Spaltöffnungen am Grunde tiefer, mit feinen Haaren durchzogener Gruben, in sogen. „windstillen Räumen", in welche niemals Wasser einzudringen oder sich niederzuschlagen vermag, so daß die Transpiration an ihren natürlichen, von Nebel- und Taubildung oft heimgesuchten Standorten, selbst in der feuchtesten Periode des Jahres nicht gefährdet wird. (Ziemlich vergrößert).

Trennung der Zellen weiter reißen. Dann erscheint uns die Kartoffel mehlig. Bei zu jungen Knollen und solchen, bei denen das Stärkemehl im Frühjahr durch das Hervorbrechen von Trieben teilweise wieder verschwunden ist, indem es zur Ernährung des sich bildenden Sprosses verbraucht wurde, tritt diese Erscheinung nicht mehr auf.

Außer diesem Durchlüftungssystem hat die Pflanze noch verschiedene, besonderen Zwecken dienende Sekretionsorgane wie Harzgänge und Milchsaftkanäle und die mannigfaltigsten Exkretbehälter, in denen die Schlacken des Stoffwechsels, die sich auch bei ihr wie beim Tiere finden, ausgeschieden werden. Diese letzteren befinden sich bei den das Laub abwerfenden Bäumen und Sträuchern, besonders in den Blättern, aus denen vor dem Laubfall alles noch irgendwie Verwendbare herausgeschafft wird. Die Sekretbehälter, in denen ätherische Öle der ver-

Digitized by Google

schiedensten Art ausgeschieden und aufbewahrt werden, sind nun nicht zu verwechseln mit den Kammern, die man mit Harzen oder Ölen, Gerbsäureniederschlägen und Fermenten aller Art gefüllt in so vielen Gewächsen antrifft und die als Behälter für die Exkrete oder Schlacken des Stoffwechsels dienen, deren sich die Pflanze nicht in ähnlicher Weise wie das Tier durch Entleeren nach außen entledigen kann. Diese Exkretbehälter begleiten vielfach als prallgefüllte Schläuche die Gefäßbündel oder sind in Einzelzellen verteilt, die, mit den mannigfaltigsten Kristallen und Ausscheidungen erfüllt, der Pflanze als Rumpelkammern für unbrauchbar gewordene Stoffe dienen. Besonders gerne werden sie außer in Blättern in Baumrinden angelegt, die so wie so einmal abgestoßen werden und dann den Unrat mit sich nehmen, um so die Pflanze zu entlasten. So entspricht der Blattabfall und die Rindenabstoßung der Pflanzen gewissermaßen der Kotentleerung der Tiere.

Die besonders für die Nadelhölzer charakteristischen, die ganze Pflanze durchziehenden Harzbehälter dienen hauptsächlich zur Abhaltung der krankmachenden Schmarotzerpilze und zur raschen Verheilung allfällig entstehender Wunden. Demselben Zwecke dienen die mit scharfem Milchsaft, starkriechenden Ölen, klebrigen Gummistoffen und aromatischen Balsamen erfüllten Saftgänge, die als Nebenfunktion einen Schutz gegen Tierfraß ausüben sollen. Wenn auch etwas Bildungssaft in ihnen enthalten sein mag, so ist doch die Hauptmasse dieser Stoffe irgend ein für die Pflanze unverwendbares Abfallsprodukt, das solchem Schutzzwecke dienstbar gemacht wird.

Auf alle Reize ihrer Umgebung reagiert die Pflanze in ihrer Weise; sie ist mit der Fähigkeit der Empfindung und Bewegung begabt wie das niedere Tier, nur weiß die große Menge nichts davon, weil die Reaktionen und Bewegungen ihrem stillen ruhigen Wesen entsprechend unauffällig sind und in der Regel so langsam verlaufen, daß nur der genau zusehende Beobachter diese Beweise eines aktiven Lebens in der Pflanze bemerkt. Daß die verschiedenen Pflanzenteile die mannigfaltigsten Bewegungen ausführen, um gewisse für sie nützliche Zwecke zu erreichen, ist ja allgemein bekannt. Die Sprosse kletternder Arten winden sich gleich einer langsam dahinkriechenden Schlange um andere, ihnen zur Stütze dienenden holzigen Pflanzen. Viele schwache Stauden, wie z. B. die Zaunrübe und verschiedene Kürbisarten, ziehen ihre nicht verholzenden Stämme vermittelst Ranken an Stützpunkten empor und halten sich daran fest. Wie der tastende Schwanz eines Klettertieres einen Ast umfängt, um sich daran festzuhalten, so senden

Digitized by Google

diese Pflanzen als metamorphosierte Blätter oder Teile von solchen, besonders Blattstiele, lange Fäden, eben die **Ranken**, die am Gipfel des wachsenden Sprosses zwischen den dicht zusammengedrängten jungen Laubblättern versteckt und dort häufig spiralig eingerollt sind, aus. Diese verlängern sich ganz außerordentlich rasch, strecken sich gerade und ragen dann wie Fangarme weit über die Laubblätter hinaus. Nur das äußerste Ende derselben zeigt eine bald stärkere, bald schwächere hakenförmige Krümmung. Haben sie ihre volle Länge erreicht, so beginnen sie ganz ähnlich wie die Sproßgipfel windender Stämme nach einer Stütze suchend im Kreise herumzuschwingen. Treffen sie bei dieser Bewegung auf einen zur Stütze geeigneten Gegenstand, so tritt auf den durch die ganze Ranke fortgeleiteten Reiz der Berührung hin eine entsprechend geänderte Wachstumsbewegung ein. Viel langsamer, aber gleich wie beim Greiforgane des Tieres legt sich die Ranke dem berührten Körper als Schlinge an, rollt sich dann spiralig zusammen und zieht dadurch den Stamm, der die schwingende Ranke aussandte, schräg empor. So wird bedächtig und langsam eine Ranke nach der andern ausgesandt; und findet auch die eine oder andere keinen Stützpunkt und rollt sich daher wieder zusammen, so hat das weiter nichts zu bedeuten, da doch der größte Teil dieser Greiforgane seinen Zweck erreicht. Sind die Ranken gabelig geteilt, so macht jeder Gabelast für sich seine besonderen Schwingungen, wie das z. B. an den Ranken des Weinstocks zu sehen ist.



Fig. 71. **Windender Sproß des Hopfens**, Humulus Lupulus, sich um einen Holunderpfahl windend. Daneben vergrößert ein einzelner, vom Stamm abgetrennter amboßartiger Klimmhaken.

Die Zahl der Umläufe, die eine schwingende Ranke, beziehungsweise ein schwingender Rankenast macht, ist je nach den Arten sehr verschieden. So bedarf die auch bei uns heute so beliebte Cobaea scandens zu einem Umlaufe nicht mehr als 25 Minuten, die Passiflora

Digitized by Google

sicyoides 30—46 Minuten, der Weinstock 67 Minuten. Auch die Schnelligkeit, mit welcher sich die Ranken infolge des vom berührten Fremdkörper ausgeübten, als Reiz empfundenen Druckes krümmen, ist je nach den Arten sehr verschieden. Bei Cyclanthera pedata beginnt die Krümmung infolge von Berührung mit einem festen Stabe schon nach 20 Sekunden, bei Passifloreen nach etwas mehr als einer halben Minute, bei Cissus discolor nach 4—5 Minuten. Entfernt man den berührenden Stab, so streckt sich das gekrümmte Blatt allmählich wieder gerade. Läßt man ihn dauernd in Berührung, so schreitet die Krümmung gleichmäßig fort. Bei Cyclanthera pedata ist schon in 4 Minuten die erste vollständige Umschlingung des Stabes vollendet; bei andern dauert es dagegen mehrere Stunden, ja selbst 1—2 Tage. Gewöhnlich aber begnügt sich die Ranke nicht mit dem Anlegen einer einzigen Schlinge, sondern bildet deren mehrere. Die Schlingen erscheinen dem erfaßten Gegenstande sehr fest angepreßt und schmiegen sich, fortwachsend, allen Erhabenheiten und Vertiefungen desselben wie eine plastische Masse an; ja, das Gewebe der Ranke dringt sogar in kleine Ritzen und Spalten ein, und wenn man die Ranke von ihrer Unterlage ablöst, so sieht man an der Berührungsstelle einen förmlichen Abdruck aller Unebenheiten der Stütze.



Fig. 72. Sproß der Zaunrübe, Bryonia dioica, mit schwingenden Ranken eine Stütze suchend und, nachdem er eine solche gefunden hat, sich an sie heranziehend und sie dabei fest umklammernd.

Manche Ranken endigen mit spitzen Krallen, welche ganz jenen an Insektenfüßen gleichen. Die meisten sind geteilt; ungeteilte einfache Fäden, wie sie beispielsweise die Zaunrübe besitzt, sind verhältnismäßig

Digitized by Google

selten. Die längsten Ranken haben die Passifloreen und kürbisartigen Pflanzen; jene des gewöhnlichen Kürbis, Cucurbita Pepo, messen manchmal über 30 cm. Die spiralige Rollung des nicht um die Stütze geschlungenen Rankenteils beginnt je nach den verschiedenen Arten einen halben oder einen oder zwei Tage, nachdem die Rankenspitze die erste Schlinge um die Stütze gelegt hat, vollzieht sich aber, nachdem sie einmal begonnen hat, ziemlich rasch. Die Drehung richtet sich bald nach rechts, bald nach links, und zwar häufig an einem und demselben Rankenaste. An den Ranken der Kürbisse kann man absatzweise die Richtung der Drehung drei- bis viermal wechseln sehen. Die Zahl der Umläufe ist dabei äußerst ungleich; die langen Kürbisranken machen gewöhnlich 30—40 Schraubengänge. Durch diese rasch verholzenden, elastisch federnden, schraubigen Gebilde ist der rankende Stamm in äußerst vorteilhafter Weise an seiner Stütze befestigt. Er wird nämlich zwar an der Stütze festgehalten, aber nicht an sie angepreßt; dadurch ist von vorneherein jede Reibung mit derselben vermieden. Bei heftigem Winde wird der rankende Stamm wohl von der Stütze weggedrängt, aber durch die federnde Eigenschaft der Ranke wird er beim Nachlassen des Windes stets wieder in seine frühere Stellung gebracht. Die schraubige Rollung findet auch an jenen Ranken statt, welchen es gelungen ist, eine Stütze zu erfassen; aber merkwürdigerweise verkümmern diese Ranken, schrumpfen zusammen, sinken herab, verwelken und lösen sich mitunter wie welke Herbstblätter vom Stamme ab, während jene Ranken, die eine Stütze gefunden haben, viel stärker und dicker werden und auch in ihrem innern Bau eine Reihe von Veränderungen erfahren, welche sie für ihre Aufgaben besonders gut geeignet machen.



Fig. 73. Lichtscheuende Ranken von Vitis inconstans, deren Spitzen sich mit Haftscheiben, wie sie die Zehen der Laubfrösche aufweisen, an die Unterlage festleimen.

Manche Ranken sind lichtscheu, wenden sich deshalb beharrlich vom Lichte ab und wachsen ohne Umschweife und ohne durch kreisendes Schwingen unnötig Arbeitskraft zu verlieren, der Hinterwand zu,

Digitized by Google

während die von demselben Stamme entspringenden Laubblätter, welche in Licht und Luft gebadet werden sollen, sich in entgegengesetzter Richtung vorstrecken und vor der Wand die für sie günstigste Lage einzunehmen suchen. Der eingeschlagene Weg bringt die Ranke in kurzer Zeit mit der Wand in direkte Berührung, und es handelt sich nun darum, an derselben auch einen festen Halt zu gewinnen. Dies geschieht nun entweder durch eigentümliche Haftscheiben oder durch Einkeilen in die dunkeln Risse und Vertiefungen, welche die stützende Fläche darbietet. Erstere finden wir bei mehreren Arten der Gattungen Cissus, Vitis und Ampelopsis. Sobald die in kleine Knötchen endigenden Gabeläste der hier abgebildeten, von Ostasien bei uns importierten Vitis inconstans eine feste Wand berühren, spreizen sie auseinander, ganz ähnlich wie die Zehen eines Laubfrosches, und aus den kleinen Knötchen werden in kurzer Zeit scheibenförmige Gebilde, die sich durch eine aus den Zellen der Scheibe ausgeschiedene zähflüssige Masse fest mit der Unterlage, sei sie rauh oder glatt poliert, verkitten. Dieser Kitt hält nun so fest, daß bei einem Versuch, die Ranke wieder von der Unterlage zu trennen, viel eher die Ranke selbst zerreißt, als daß ein Ablösen der Scheibe erfolgen würde. Bei Vitis inserta dagegen suchen die gekrümmten Spitzen der lichtscheuen, gegen die Wand wachsenden Ranken die Ritzen und Spalten der Rinde oder des verwitterten Gesteins auf und kriechen förmlich in dieselben hinein, oder sie betten sich, wenn nur seichte Furchen in der Unterlage zu finden sind, in diese ein, meiden dagegen möglichst die glatte Oberfläche, welche dieser Art von Ranken keinen entsprechenden Halt geben würde. In den Ritzen und Furchen eingelagert, schwellen die bisher noch hakenförmig gebogenen Enden kolbenförmig an und verdicken sich in kurzer Zeit so stark, daß sie die ganze Spalte ausfüllen. Wie in die Spalte gegossenes flüssiges Wachs haften sie ein-

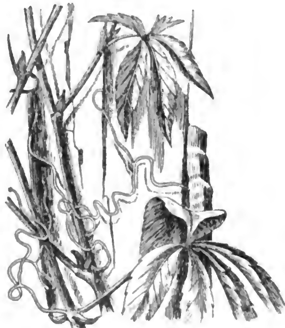


Fig. 74. Lichtscheuende Ranken von Vitis inserta, deren Spitzen förmlich in die Spalten und Ritzen hineinkriechen.

Digitized by Google

gekeilt in der Vertiefung fest, und auch hier scheint eine Kittmasse abgesondert zu werden, welche die Verfestigung vervollständigt. Sowohl die Haftscheiben, als diese eingekeilten kallösen Verdickungen bilden sich nur dann aus, wenn die Berührung mit einem festen Körper stattgefunden hat. Sobald die Ranke aus was immer für einer Ursache von der Berührung mit einer festen Unterlage abgehalten wird, findet die Wucherung des Gewebes, die zapfenartige Vorstülpung und Vergrößerung der Oberhautzellen und die Ausscheidung einer Kittmasse nicht statt, sondern das Ende der Ranke vertrocknet und stirbt ab. Es erinnert dieser Vorgang lebhaft an die Schwielenbildung an der Haut der Tiere oder des Menschen und ist wie diese auf Reizung, Reibung und Druck zurückzuführen.

Hat sich die lichtscheue Ranke auf die eine oder andere Art an der Unterlage befestigt, so findet eine schraubige Drehung derselben statt; auch werden die gefestigten Ranken jetzt sehr stark, stets viel kräftiger als jene, deren Spitzen eine Unterlage nicht gefunden haben, und es ist nun der Stamm, welcher die Ranke aussandte, durch die elastisch federnde Ranke an der Steilwand des Felsens oder an der rissigen Borke eines Baumstammes wohl befestigt, so daß auch kräftige Windstöße sie nicht abzudrängen vermögen. Wächst der Stamm nachträglich in die Dicke, so gibt die ihn festhaltende spiralige Feder nach und wird so weit ausgezogen, als eben notwendig ist. Sehr alte Stämme bedürfen der Haftorgane nicht mehr, sie stehen unbeugsam vor der Wand, an der sie sich als junge Reben vor Jahren empor gezogen hatten, als kräftige, aufrechte Stämme, wenn auch ihre Ranken schon längst abgedorrt sind. Nur die immer höher und höher strebenden jungen Triebe heften sich immer wieder in der hier angegebenen Weise an die Unterlage an.

Wie der wachsende, schwache junge Sproß durch Ranken, so erhält sich der kletternde Stamm vermittelst K l e t t e r w u r z e l n an Baumstämmen und steilen Felswänden fest. Auch diese, die neben den Saugwurzeln gebildet werden, wandern lichtscheu gegen die Unterlage und heften sich vermittelst einer klebrigen Substanz an dieselbe fest. Diese letztere wird entweder von den berührten Zellen ausgeschieden oder sie geht durch Verschleimung aus der äußersten Hautschicht dieser Zellen hervor. Je dunkler die Stelle ist, um so kräftiger werden die Wurzelfasern, die stets der dunkelsten Stelle zu wachsen, ausgebildet. Manche dieser Kletterwurzeln sind sehr kräftig, bei tropischen Kletterstämmen bis armdick, und verwachsen an den Stellen, wo sie auf-

Digitized by Google

einandertreffen, gurtenförmig, so daß sie schließlich ihre lebendige Stütze erwürgen und töten können. Solche **Baumwürger** sind in den Tropen zahlreich. Dabei vermodert schließlich der strangulierte Baum und verschwindet; der kletternde Stamm aber mit seinen verflachten Kletterwurzeln erhält sich lebendig und hat sich mit den pfeilerförmigen Luftwurzeln inzwischen eine genügende Stütze aus eigenen Mitteln geschaffen und ist durch sie vor dem Umfallen gesichert.



Fig. 75. Lianen-Mäntel an Säulenbäumen im Hochlande von Ceylon. (Nach einem Aquarell von Prof. Ernst Häckel's Wanderbilder).

Der merkwürdigste Vorgang, durch welchen die zum Klettern vorbereiteten Sprosse an die zur Stütze sich darbietende Wand gelangen, wird bei mehreren tropischen Bignoniaceen beobachtet, von denen die hier abgebildete Bignonia argyroviolacea vom Ufergelände des Rionegro in Brasilien einen Teil der Blätter in Form von bekrallten Greiforganen entwickelt, die dem Fuße eines Raubvogels auffallend ähnlich sehen. Die in solche spitze, hakenförmig gekrümmte drei Krallen endigenden Blätter finden sich nur an jenen Stämmen, die auf der Suche nach einer festen, sichern Stütze für die später zu entwickelnden blühenden und fruchtenden Sprosse begriffen sind. Diese Stämme sind dünn, sehr verlängert, schieben unermüdlich immer neue Stengelglieder vor und hängen von dem Baume, dessen Borke bereits ganz von ihnen übersponnen ist, und die für eine neue Ansiedelung

Digitized by Google

keinen Raum mehr bietet, in Gestalt langer Fäden herab. Vom Winde in Schwankung gebracht, suchen die wie bei einem Raubtier zum Fange ausgestreckten Krallen einen Stützpunkt zu erfassen und beugen sich, nachdem ihnen dies gelungen ist, zurück, um sich daran fest zu verankern. Solche bekrallte Blätter, welche vergeblich zum Fange ausgestreckt waren, werden eingezogen, schließen häufig wie zwei über die Brust gekreuzte Arme am dünnen Stamme zusammen und bergen sich unter den inzwischen zu lanzettlichen Spreiten ausgewachsenen Teilblättchen. Bis zum folgenden Tag hat sich der fadenförmige Stengel um ein neues, mit zwei bekrallten Blättchen ausgerüstetes Stück verlängert, wieder sind die beiden dreizehigen Greiforgane ausgestreckt, wieder pendelt der fadenförmige Stengel im Winde hin und her, in der Erwartung, einen festen Stützpunkt erfassen zu können und wiederholt dieses Manöver so lange, bis er seinen Zweck erreicht hat. Hernach erst entwickeln sich Klammerwurzeln, die an jedem Knoten des fadenförmigen Stammes in Form kleiner Warzen vorbereitet sind, aber an den in der Luft schwebenden Stammteilen verkümmern; sie wachsen aus, verlängern sich und bilden zahlreiche Seitenäste.

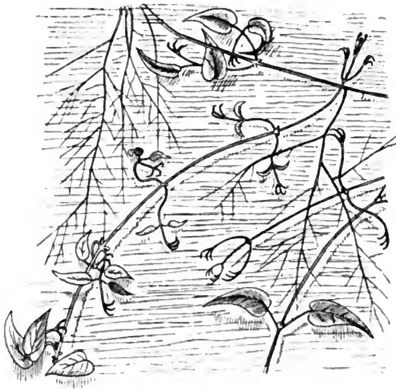


Fig. 76. Die kletternde tropische Bignonia argyroviolacea vom Ufergelände des Rionegro in Brasilien sich mit Ranken, die in raubvogelähnliche Krallen auslaufen, an der von ihr erklimmten Wand festhaltend.

Während die Blüten der Pflanze wie die Blätter dem Lichte zustreben, um die Insekten zur Pollenübertragung herbeizulocken, werden sie bei manchen, an senkrecht abfallenden Felsen und Mauern wachsenden Pflanzen, wie beispielsweise beim anspruchslosen Zymbelkraut, Linaria Cymbalaria, nach ihrer Befruchtung instinktiv lichtscheu, wie die bereits

Digitized by Google

besprochenen Kletterwurzeln, und wachsen mit ihrer kostbaren Bürde in dunkle Ritzen, um den Samen dort zu deponieren und so das Haften und Gedeihen der jungen Pflanzen zu sichern. Tausende solcher Beispiele ließen sich anführen, aus denen deutlich hervorgeht, daß die Pflanze wie das niedere Tier mit Empfindung und Bewußtsein begabt ist und stets zweckmäßig handelt, wie es ihren Bedürfnissen entspricht. Wie sie stets nicht nur durch allerlei höchst nützliche Einrichtungen, sondern auch durch bestimmte Bewegungen die Blüten und Blätter vor zu starker Abkühlung und die Pollenbehälter vor der Nässe schützt, weiß sie ebenso gut das für ihr Gedeihen nötige Wasser zu finden, als auch einen Überschuß von solchem abzuleiten und für sie unschädlich zu machen. Zu letzterem Behufe begnügen sich die meisten in niederschlagsreichen Gegenden lebenden Arten durch besondere Träufelspitzen für das rasche Ablaufen des überschüssigen Nasses zu sorgen, damit sich nicht etwa niedere Pflanzen als Epiphyten oder gar Schmarotzer auf denselben festsetzen können. Mancher Art genügt aber diese passive Art der Abwehr nicht; sie sucht sich aktiv durch Bewegungen davor zu schützen. So schwingen beim indischen Kraute Desmodium gyrans die beiden kleinen, an der Basis des Hauptblattes befindlichen Seitenblättchen fortwährend um ihre Axe auf und ab, wobei sie bei jeder Schwingung innerhalb weniger Minuten gegen die Blattspreite des Hauptblattes schlagen und durch die dabei erzeugte Erschütterung das allfällig angesammelte Wasser abschütteln, wie etwa ein durchnäßtes Tier das ihm lästige Naß abschüttelt. Andere führen zur Befruchtung der Blüten, zur Bergung oder Ausstreuung von Samen, wie auch zum Fangen und Verspeisen von Tieren die mannigfaltigsten Bewegungen aus, auf die wir leider nicht näher eintreten können, so verlockend ein solches Unternehmen bei der Fülle des sich hier uns darbietenden Interessanten auch wäre. Wir wollen hier nur kurz anführen, daß auf solchen Tierfang gerade solche Pflanzen als Nebenerwerb verfielen, deren wenig nahrhaftes Substrat ihnen die zum Leben nötige Zufuhr von Nährsalzen verweigerte. So entwickelte sich bei der Pflanze die merkwürdige Eigenschaft des Fleischfressens nicht aus bizarrer Laune, sondern aus Selbsterhaltungstrieb. Und für diese auf den ersten Blick für die Pflanze so unbegreifliche Funktion des Fanges und Verspeisens von Tieren, bei welcher sie sehr viel besser gedeiht, als wenn man ihr die Möglichkeit dazu nimmt, sind von ihr die allerverschiedensten Maßnahmen getroffen worden. Sehr viele fleischfressende Pflanzen wandeln einen Teil ihrer Blätter in die merkwürdigsten Fallgruben

Digitized by Google

und Tierfallen um, um vorzüglich flügellose, auf dem Boden dahinkriechende Tiere, meistens Insekten, zu fangen. Andere bilden daraus Leimruten, um beflügelte Insekten zu erbeuten. Mit diesen führen sie beim Fange derselben teilweise äußerst sonderbare Bewegungen aus, klappen nach einer Berührung durch die Beute in 10—30 Sekunden die stachelbewehrten Fangblätter zu und verdauen ihren lebenden Fang ganz so wie das fleischfressende Tier es auch tut, indem sie ohne einen Magen zu besitzen doch verdauenden „Magensaft“ ausscheiden. Wie nun bei letzterem diese beiden Stoffe nur während der Verdauung auftreten, so ist es auch bei der fleischfressenden Pflanze. Sie scheidet in ihre verdauenden Behälter für gewöhnlich nur eine neutrale Flüssigkeit ab, welche erst beim Dazugelangen von Eiweiß durch ein gefangenes Tier das verdauende Ferment, und zwar genau wie beim Tier Pepsin, und die dasselbe erst aktiv verdauend machende Säure, die Salzsäure, erhält und damit volle Digestionsfähigkeit erlangt. Haben die dabei tätigen Drüsenhaare das wie im Tiermagen durch Umwandlung in lösliche Peptone umgewandelte Eiweiß verdaut und aufgesaugt, so wird die Reaktion der von ihnen ausgeschiedenen Tröpfchen wieder neutral, bis ein neuer Fang abermalige Säureabscheidung hervorruft. So besteht das Blatt des wie das gemeine Fettkaut, Pinguicula vulgaris, im nahrungsarmen Torfmoore wachsenden Sonnentaus,

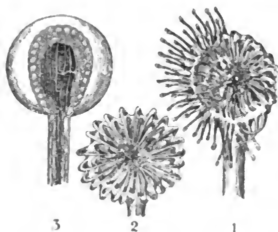


Fig. 77. 1 und 2 Blätter des Sonnentaus, Drosera rotundifolia, deren Fühlfäden sich um ein daraufgeflogenes Insekt herumlegen, um es auszusaugen. 3 Drüse am Ende eines Fühlfadens aufgeschnitten, um den inneren Bau zu zeigen. (Letztere vergrößert.)

Drosera rotundifolia, aus rund 200 an der Spitze kolbig aufgetriebenen Drüsenhaaren, die vom Rande nach der Mitte zu stetsfort kürzer werden und in je ein rotes Köpfchen endigen. Diese scheiden eine helle, zähflüssige, klebrige Masse ab, welche im Sonnenscheine wie ebenso viele Tautröpfchen schimmert, was auch zu der Benennung Sonnentau Veranlassung gab. Den fliegenden Insekten erscheinen sie als Honigtröpfchen, und wenn sie sich hungrig dahinter machen, sich auf ein solches Blatt setzen, so kommt auch Leben in den Drüsenhaarbesatz. Vom Reiz der Berührung durch einen tierischen Körper ausgelöst,

Digitized by Google

schlägt ein Kölbchen nach dem andern über die angeleimte Beute, so daß im Verlaufe von etwa einer Stunde sämtliche Drüsenhaare sich über das gefangene Tier herabgeschlagen haben, um es alsbald zu verdauen. Alle diese Bewegungen wechseln von Fall zu Fall und ergänzen sich gegenseitig nach dem jeweiligen Bedürfnisse und dem augenblicklichen Vorteile. Stets wird durch die kombinierten Bewegungen das eine erreicht, daß die Beute mit reichlichem, aus zahlreichen Drüsen zufließendem verdauendem Safte versetzt sich auflöst und



Fig. 78. Stück eines Taublattes, Drosophyllum lusitanicum, mit gefangenen und ausgesaugten Insekten.

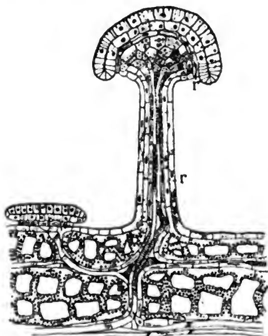


Fig. 79. Querschnitt durch die Blattoberfläche von Drosophyllum mit einer sitzenden und einer gestielten Drüse. Von der Verdauungsscheibe der gestielten Drüse an, wo sie den inneren Zellen flach aufliegen, lassen sich die Reizleitungszellen r bis zur sitzenden Drüse und in mannigfachen Verzweigungen im Blatte nachweisen, wo sie die Blattadern begleiten. Das Taublatt ist die erste Pflanze, bei der solche „Pflanzennerven" nachgewiesen wurden. (Stark vergrößert.) Nach Fenner.

so von der Pflanze in sich einverleibt werden kann. Nachdem alle Eiweißsubstanz verdaut und auch die Verdauungsflüssigkeit zurückgesaugt worden ist, verweht der Wind die unverdaulichen Chitinhäute und Flügel von den getrockneten Drüsenköpfchen und die Drüsenhaare bereiten sich zu neuem Fange vor. Erschütterungen durch Wind oder fallende Regentropfen bringen keinerlei Veränderungen an ihnen hervor. Werden durch den Wind Erdteilchen oder versuchsweise vom

Digitized by Google

Menschen irgend welche stickstoffreie organische Körper mit den kolbenförmigen Enden der Drüsenhaare in Berührung gebracht, so nimmt zwar die Ausscheidung von Flüssigkeit etwas zu, aber es erfolgt keine Abscheidung von Pepsin oder Salzsäure und nur eine sehr unbedeutende Lageveränderung der Drüsenhaare. Die Pflanze merkt also sofort, daß sie nur geprellt und kein für sie verdaulicher Gegenstand ihr dargeboten wird, und stellt alsbald ihre Fangstellung wieder her. Aber auf stickstoffhaltige organische Stoffe, alle Arten Fleisch und Eiweiß, reagiert sie mit unfehlbarer Sicherheit auf die für sie zweckmäßigste Weise. Schon der Bruchteil eines Tausendstel Grammes wird von ihr deutlich empfunden und veranlaßt sie, Fangbewegungen auszuführen.



Fig. 80. Untergetaucht schwimmender Wasserschlauch, Utricularia, welcher in den hier dargestellten kleinen Reusen allerlei Wassertiere fängt und verzehrt. Oberhalb der typisch zerschlitzten Schwimmblätter eine sich im Herbste ablösende und am Grunde des Gewässers überwinternde Winterknospe. (Nach Dr. Hegi.)

Ähnlich zweckmäßig — um nicht zu sagen intelligent — verfährt beim Insektenfang die im östlichen Nordamerika ebenfalls auf Torfmooren heimische Venusfliegenfalle, Dionaea muscipula, desgleichen das in Portugal und Marokko heimische Taublatt, Drosophyllum lusitanicum, welch letzteres ein typischer Tierfänger mit Klebevorrichtungen ist, und alle andern Insekten fangenden und verzehrenden Pflanzen, von denen noch etwa der in stehendem Gewässer frei im Wasser schwimmende Wasserschlauch, Utricularia, der kleine Wassertiere in Reusen fängt, und die in warmen Ländern in ziemlicher Zahl vorkommenden Kannengewächse oder Nepenthesarten, die den Tierfang mit Hilfe sehr verschieden gestalteter Fallgruben betreiben. Sie gedeihen auf dem nährstoffarmen Sumpfboden der Urwälder, klettern

Digitized by Google

auch in manchen Arten am Buschwerk empor. Die Blattstiele sind nur im untersten Abschnitte blattartig, im mittleren sind sie strangförmig, im Endteile aber zu einer kannenförmigen Fangvorrichtung umgewandelt, deren Deckel durch die zu einer kleinen Fläche umgewandelte Blattspitze gebildet wird. Die Buntfärbung des ganzen Gebildes in der Art einer Blume und die Ausscheidung von Honig am Deckel und besonders am gewulsteten Rand der Kanne ist dazu bestimmt, Insekten anzulocken, die dann sehr leicht über den abschüssigen und durch einen Wachsüberzug geglätteten Rand in die halb mit Flüssigkeit gefüllte Kanne hinabstürzen. Da die Innenwand durch den Wachsüberzug gleichsam poliert ist und vom Rande noch große

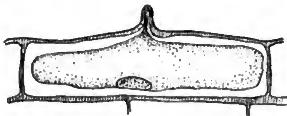


Fig. 81. Oberhautzelle mit einer durch lokale Vorwölbung der Außenwand enstandenen Fühlpapille eines Staubblattes des Feigenkaktus, Opuntia vulgaris. (Sehr stark vergrößert.) Nach Haberlandt.

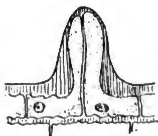


Fig. 82. Kurzes Fühlhaar vom Staubblatt der Kornblume, in welches zwei Oberhautzellen Fortsätze ausstrecken. (Stark vergrößert.) Nach Haberlandt.

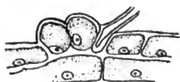


Fig. 83. Fühlpolster vom rankenden Blattstiel der Waldrebe. (Stark vergrößert.) Nach Haberlandt.

Zähne nach Innen starren, so gibt es für die Unvorsichtigen, die hineinfallen, kein Entrinnen mehr. Sie ertrinken und ihre Weichteile werden von dem ausgeschiedenen Verdauungssafte aufgelöst und von der Pflanze aufgesogen.

Wie die Pflanze sich nach Bedarf bewegt und sogar, sie, die unbewegliche, leicht bewegliche Tiere fängt und verspeist, so hat sie auch gewisse Sinnesorgane mit dem Tiere gemeinsam. Nach den neuesten Untersuchungen von Prof. Haberlandt in Graz besitzt sie an der Oberfläche die mannigfaltigsten Reize empfindenden Einrichtungen. Die meisten derselben sind so beschaffen, daß die mechanische Einwirkung an ihnen eine Zug- oder Druckspannung hervorrufen muß, wodurch das empfindliche Zellprotoplasma gereizt wird. Der Reiz

Digitized by Google

wird dann zu der Stelle weitergeleitet, wo die zweckentsprechende Bewegung ausgelöst werden soll. Da finden wir durch lokale zarte Vorwölbung der Außenwand der Oberhautzelle entstandene, mit Plasma-

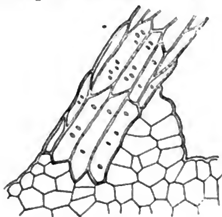


Fig. 84. Längsschnitt durch den unteren Teil einer Fühlborste des Gelenkpolsters der Sinnpflanze, Mimosa pudica. (Stark vergrößert.) Nach Haberlandt.



Fig. 85. Längsschnitt durch den unteren Teil einer Fühlborste der Blattspindel der im tropischen Asien heimischen Oxalidee Biophytum sensitivum. (Stark vergrößert.) Nach Haberlandt.

fortsätzen erfüllte Fühlpapillen, wie bei den Staubblättern des Feigenkaktus, oder von zwei Zellen gebildete Fühlhaare, wie an den Staubblättern der Kornblume, oder gar Fühlborsten, die ähn-

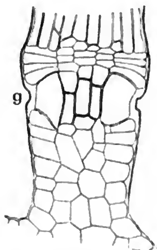


Fig. 86. Längsschnitt durch den unteren Teil einer Fühlborste einer Venusfliegenfalle, Dionaea muscipula. g reizempfindendes Gelenk mit den Sinneszellen. (Stark vergrößert.) Nach Haberlandt.

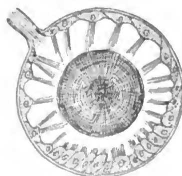


Fig. 87. Statisches Organ einer Meeresschnecke, mit einem als Statolithen dienenden Steinchen im Innern. (Stark vergrößert.)

lich den Tasthaaren der niederen Tiere und Insekten gebaut und oft mit empfindlichem, weichem Zellpolster an der Basis der dickwandigen

Digitized by Google

Borstenzellen ausgestattet sind, wie beispielsweise an den Gelenken der Sinnpflanze, Mimosa pudica. Diese Borsten müssen bei der geringsten Bewegung das weiche Polster an ihrem Grunde in Mitleidenschaft ziehen. Die Ähnlichkeit all dieser aufgefundenen Organe, von denen wir noch ein Tastorgan am rankenden Blattstiel der Waldrebe abbilden, mit den Tastwerkzeugen von Stachelhäutern, Ringelwürmern und Insekten ist geradezu überraschend.

Über die Richtung der Schwerkraft orientiert sich die Pflanze durch das Gewicht von Stärkekörnern, die einen Berührungsreiz auf

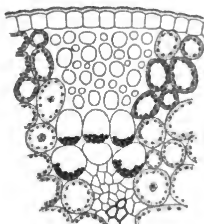


Fig. 88. Ein die Schwerkraft empfindendes Sinnesorgan in Form von Statocysten mit durch Jod dunkelblau gefärbten Stärkekörnern aus dem Blütenschafte von Arum ternatum. (Stark vergrößert.) Nach Haberlandt.

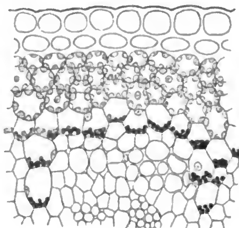


Fig. 89. Teil eines Querschnittes durch einen horizontal gelegten, geotropisch krümmungsfähigen Stengelteil des ausdauernden Leins, Linum perenne. Unter dem Rindenparenchym die „Stärkescheide", in welcher die mit Jod dunkelblau gefärbten Stärkekörner, die Statocysten, den physikalisch unteren Zellwänden aufliegen. (Stark vergrößert.) Nach Haberlandt.

das empfindliche Zellprotoplasma ausüben und so den sich bewegenden Organen, wie den Wurzeln und wachsenden Sprossen eine Orientierung im Raume ermöglichen. Solche Statocystenapparate entsprechen durchaus den ganz analog gebauten und auf dieselbe Weise über die Wirkung der Schwerkraft orientierenden Apparaten — hier nur, weil Steinchen statt der Stärkekörner, die ja dem Tiere fehlen, Verwendung finden, Statolithen genannt —, die wir bei zahlreichen niederen Tieren, besonders bei Krebsen antreffen. Auch der Lichtreiz, der ja so viele pflanzliche Krümmungsbewegungen auslöst, wird von ganz besonderen Sinnesorganen aufgenommen, die bis auf Einzelheiten den

Digitized by Google

Lichtsinnesorganen der Tiere entsprechen. Wie letztere Augen mit Linsen zur Konzentrierung der Lichtstrahlen besitzen, so besitzt die Pflanze das Licht sammelnde Vorwölbungen an zahlreichen Zellen der Oberhaut, welche wie die Linsen des Tierauges wirken. Durch Lichtbrechung an ihnen entstehen auf den inneren, den grünen Zellen zugekehrten Wänden stark beleuchtete Mittelfelder, die sich bei jedem Richtungswechsel der Strahlen verschieben und das in seiner „normalen Lichtstimmung" gestörte, der Zellwand anliegende Plasma reizen. Haberlandt konnte, wenn er die losgelöste, nach unten gekehrte und von unten beleuchtete Epidermis durch das Mikroskop betrachtete, solche helle Mittelfelder und ihre Verschiebung unmittelbar beobachten und in Mikrophotogrammen festhalten. Ist im Zellsaft Gerbstoff gelöst, so wirkt er stärker lichtbrechend. Bei Samtblättern feuchter Klimate treten vielfach kegelförmige Papillen auf, deren abgerundete

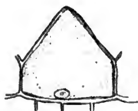


Fig. 90. Lichtsinneszelle mit kegelförmiger Papille. (Sehr stark vergrößert.) Nach Haberlandt.

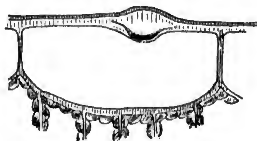


Fig. 91. Lichtsinneszelle vom Blatte der pfirsichblättrigen Glockenblume, deren lichtdurchlässige verkieselte Wandverdickung in der Außenwand zu einer Sammellinse geworden ist. (Sehr stark vergrößert.) Nach Haberlandt.

Spitzen allein als Sammellinsen wirken. Das ist eine Anpassung an die Benetzung: nur die Spitzen der Papillen ragen aus der Wasserschicht heraus (s. Fig. 90). Oft zeigt sich eine Arbeitsteilung. So haben die schildförmigen Blätter unserer Kapuzinerkresse neben schwach gewölbten Oberhautzellen solche, die in der Mitte stark vorgewölbt sind. Bei manchen Arten, wie bei der schönen großblütigen Glockenblume, ist nicht mehr die ganze Oberhautzelle als Sammellinse gebaut, sondern sie besitzt eine lichtdurchlässige, verkieselte Wandverdickung, die zur Sammellinse geworden ist. Diese Einrichtung stellt natürlich einen höher entwickelten Typus von größerer Wirkungskraft vor.

Unter den einzeln auftretenden lokalisierten Sinneszellen der Haut finden sich aber noch höher entwickelte Typen, die den Augen mancher niederer Tiere sehr ähnlich sind. So bildet das Blatt eines peruanischen Akanthusgewächses, Fittonia Verschaffelti, viele über die

Digitized by Google

Oberfläche verstreute Ocellen oder augenartig gebaute Lichtempfindungsapparate. Es sind dies stark vorgewölbte Gebilde, die oben noch eine kleinere, stärker lichtbrechende Linsenzelle besitzen. Sogar Öltropfen können im Innern von Zellen in den Dienst der Lichtbrechung treten. Bei manchen Arten sind alle Übergänge von mehrzelligen Haaren zu typischen Ocellen zu sehen, welch letztere, wie am

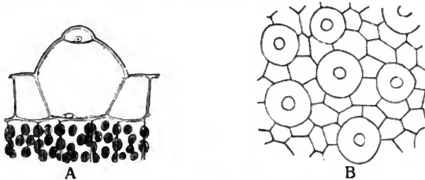


Fig. 92. Lichtempfindende Sinnesorgane der in Peru einheimischen Acanthacee Fittonia Verschaffelti. A im Längsschnitt, B Oberflächenansicht. (Sehr stark vergrößert.) Nach Haberlandt.

Mikroskope beobachtet werden konnte, da, wo der Brennpunkt der Linse auf die Innenfläche fällt, tatsächlich Bildchen der äußeren Gegenstände wie in einem Tierauge entwerfen.

Aber nicht nur Augen wie das Tier, auch das Vermögen selbst zu leuchten wie ein solches besitzen manche Pflanzen. Wie kleine leuchtende Meerestiere, wie die das Meeresleuchten verursachende Flagellate Noctiluca, Bryozoen oder Moostiere, Schlangensterne und Würmer auf bestimmte Reize Licht aussenden, so tun es manche Pilze, wie das Mycel des verbreiteten Hutpilzes, des Hallimasch, Agaricus melleus, das Bacterium phosphoreum in altem Holze oder auf faulenden Blättern oder das Bacterium lucidum auf sich zersetzenden Fischen oder auf nicht mehr frischem Fleische. Der Prager Botaniker Prof. Hans Molisch zählt 26 Arten der von verschiede-

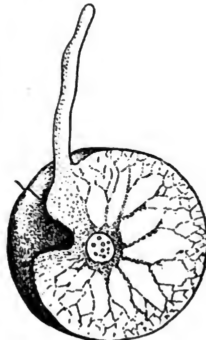


Fig. 93. Durchschnitt durch den Flagellaten Noctiluca, der das Meeresleuchten verursacht. (Sehr stark vergrößert.) Das erzeugte Licht wird wie durch einen Brennspiegel konzentriert und dadurch verstärkt.

Digitized by Google

nen Forschern gefundenen Leuchtbakterien auf. Dieses ihr Leuchten hängt wie bei den Leuchttieren unmittelbar mit der Atmung zusammen, die ja auch ein Oxydationsvorgang ist. Selbst die kleinste Menge freien Sauerstoffs wird sofort durch ein Aufleuchten der vorher im sauerstofffreien Raume lichtlosen Bakterien angezeigt, so daß der holländische Bakterienforscher Beijerinck die Leuchtbakterien sogar als empfindlichstes Sauerstoffreagens benutzen konnte, so z. B. um die Kohlensäureassimilation ganz geringer Mengen grüner Zellteile, bei welcher stets Sauerstoff ausgeschieden wird, auch außerhalb des Zellverbandes nachzuweisen. Diese Kohlensäureassimilation geht ja, wie wir wissen, nur unter dem Einflusse des Lichtes vor sich. Es genügte das kaum eine Sekunde lang einwirkende Licht eines Zündhölzchens, um das Wiederaufleuchten der Bakterien zu erzeugen, die damit die winzigen Spuren des in dieser



Fig. 94. Bacterium phosphoreum (950fach vergrößert.) Nach Molisch.



Fig. 95. Protonema oder Vorkeim des Leuchtmooses, Schistostega osmundacea, in natürlicher Lage. (Ziemlich stark vergrößert.) Nach F. Moll.

Zeit von den grünen Zellteilen ausgeschiedenen Sauerstoffs sofort nachwiesen. Während Molisch das Leuchten der Spaltpilze und Pilzfäden für eine zufällige Konsequenz des Stoffwechsels ansieht, vermutet Anton Kerner von Marilaun in seinem bekannten Pflanzenleben von diesen Lebewesen mit Recht, daß sie damit des Nachts fliegende Pilzmücken und Pilzkäfer zur Verbreitung ihrer Sporen anlocken möchten.

Verschieden von diesem Selbstleuchten ist das Leuchten durch Lichtverstärkungsapparate, wie wir es, ähnlich wie beim Tiere, gelegentlich auch bei Pflanzen beobachten. Durch solche Lichtkondensatoren leuchtet das in schattigen, feuchten Klüften oder am Eingange von Höhlungen im Granit- und Schiefergebirge Mitteleuropas vorkommende Leuchtmoos, Schistostega osmundacea. Die erwachsene Pflanze zeigt diese Erscheinung nicht mehr, wohl aber der winzige Vorkeim, der einem winzigen Tischchen gleicht, in dem eine zweilappige Platte von einem dünnen Stengel getragen wird. Die Zellen der Platte er-

Digitized by Google

scheinen wie Perlen, die in eine stumpfe Spitze ausgehen, in welchen etwa 8 grüne Chloroplasten liegen. Die linsenförmig vorgewölbten Oberflächen der Vorkeimzellen des Leuchtmooses stellen sich stets senkrecht zu den spärlichen, von außen hereinfallenden Lichtstrahlen, die durch sie wie durch eine Linse konzentriert und auf die Chlorophyllkörper geworfen werden, weshalb sie auch im Halbdunkel ihres natürlichen Standortes smaragdgrün schimmern. Durch diese ingenöse Einrichtung, die ganz wie die mit Wasser gefüllten Glaskugeln unserer Schuster das spärliche Licht sammelt, vermag das die es gar zu sehr austrocknenden Sonnenstrahlen scheuende Pflänzchen auch an seinem schattigen Platze das an sich für die Assimilation ungenügende Licht soweit zu konzentrieren, daß es davon zu leben vermag.

Aus den wenigen hier angeführten Beispielen ersehen wir genugsam, welch überaus zweckmäßige Einrichtungen allenthalben in der Natur, nicht nur bei den Tieren, sondern auch bei den Pflanzen getroffen sind, und wie außerordentlich enge Beziehungen das Pflanzenreich mit dem Tierreich verknüpfen. Während man noch vor wenig Jahrzehnten die Pflanzen geradezu in Gegensatz zu den Tieren stellte und ihnen völlig irgend welches Gefühl oder gar die Anfänge eines Bewußtseins absprach, ist heute die Forschung zur Einsicht gekommen, daß beides den Pflanzen so gut wie den niederen Tieren zukommt und alle Unterschiede zwischen beiden nur durch die verschiedenen Lebensaufgaben, denen sie obliegen, bedingt sind. Je tiefer wir in der Tierreihe hinuntersteigen, um so ähnlicher werden Pflanzen und Tiere einander. Da, wo die niederen Tiere gleich den Pflanzen sich um ihre Nahrung nicht weiter zu bekümmern brauchen, indem sie sich die überall im Wasser sich ansammelnden, mikroskopisch kleinen Lebewesen, von denen sie leben, in

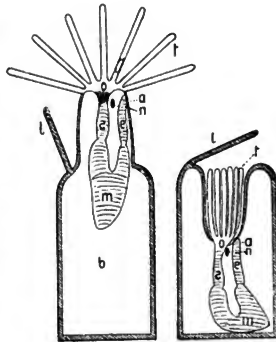


Fig. 96. Schematischer Querschnitt einer Bryozoe, d. h. eines Moostierchens. (Stark vergrößert.) l Deckel, t Tentakeln zum Ausfindigmachen und Ergreifen der Nahrung, o Mund, s Speiseröhre, m Magen, e Enddarm, a After, n Nervenknoten als Sitz der Psyche, b Hinterkörper.

Digitized by Google

ihren Mund hineinstrudeln, setzen sie sich gleich der Pflanze unbeweglich am Boden fest. So verzichten die also lebenden Polypen, wie die Korallen, Seelilien, Schwamm- und Moostiere — letztere sind eigentlich durch Knospung sich vermehrende Würmer —, die Rankenfüßler — eine Krebsart —, Muscheln und zahlreiche andere, wie die Pflanze im erwachsenen Zustande auf die ihnen im Jugendstadium noch zukommende Beweglichkeit, um ebenso stumpf und gleichgültig gegen alles, was um sie herum vorgeht, wie diese zu werden. Ja, als Parasiten können manche einst, als sie sich noch selbständig ernährten, hochstehende Tiere sich so weit zurückbilden, daß sie weit unter die Durchschnittspflanze hinabsinken, indem sie wie manche parasitische Krebse und Würmer an ihren Wirt festgesaugt zum ungegliederten, regungslosen, stumpfsinnigen, eines selbständigen Lebens nicht mehr fähigen Sacke herabsinken, das mit der Ausrottung seines Trägers als ein passives Anhängsel desselben auch dahinsterben muß. Wie wir also bei genauerem Zusehen überall nur relative und keine absoluten Unterschiede zwischen Pflanze und Tier erkennen, so ist auch die Organisation der Pflanze um so tierähnlicher, je mehr sich ihre Lebensweise derjenigen des Tieres nähert. So besitzen beispielsweise die Pilze, die nicht selbständig, wie die übrigen Pflanzen, zu leben vermögen, da ihnen die Fähigkeit der Assimilation abgeht und sie deshalb wie das Tier als Parasiten oder Saprophyten, d. h. Fäulnisbewohner auf Kosten der von der Pflanze erworbenen Nahrungsstoffe leben müssen, weder pflanzliches Stärkemehl, sogenanntes Amylum, noch auch pflanzlichen Zellstoff oder Cellulose, sondern tierische Stärke, Glycogen, und tierische Versteifungssubstanz, Chitin, da wo sie solche benötigen. Diese letztere Substanz, die wir überall im Hautskelett der Wirbellosen, besonders bei den ihren Körper außen herum, statt wie die Wirbeltiere durch ein inneres Achsenskelett, versteifenden Insekten antreffen, ist mit der pflanzlichen Versteifungssubstanz, der Cellulose, sehr nahe verwandt, indem das Chitin nur eine Amidogruppe (NH_2) mehr hat als die Cellulose, die mit dem Stärkemehl isomer ist d. h. dieselbe stoffliche Zusammensetzung wie sie besitzt. Daß übrigens auch die Cellulose nicht ein ausschließlich pflanzliches Produkt ist, beweist der Umstand, daß die entwicklungsgeschichtlich den Wirbeltieren am nächsten verwandten Tunicaten oder Manteltiere, die nach einem kurzen beweglichen Jugendstadium als unförmliche Säcke mit zwei Öffnungen sich am Boden des seichten Meeres verankern, mit der zu ihrem Schutze von der Epidermis ausgeschwitzten Gallerthülle echte Cellulose ausscheiden.

Digitized by Google

Wie alle von den Pflanzen gebildeten Eiweißstoffe, Kohlehydrate und Fette den tierischen sehr nahe verwandt sind, so sind auch die Ausscheidungsprodukte sehr ähnlich. Dem Harnstoff der Tiere entsprechende und ihm sehr nahestehende Ausscheidungsprodukte kommen auch in der Pflanze vor wie Guanin und Allantoin. Es gibt überhaupt keinen einzigen Stoff, der ausschließlich den Pflanzen oder den Tieren eigentümlich wäre; dies schon beweist ihre enge Verwandtschaft, ihren ursprünglichen Zusammenhang. Die ältesten Lebewesen waren eben weder Pflanzen noch Tiere in unserem Sinne, sondern beides zugleich. Als Einzeller bildeten sie den gemeinsamen Sproß, aus welchem durch die besonderen Entwicklungsrichtungen, die sie einschlugen, je nachdem sie die Assimilation oder Konsumption zur maßgebenden Lebensfunktion erhoben, nach und nach erst eine Ausbildung zu eigentlichen Pflanzen und Tieren erfolgte.

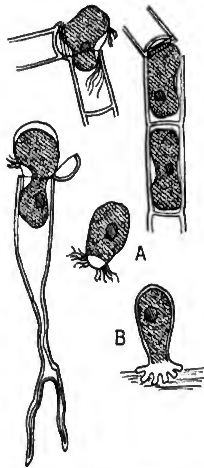


Fig. 97. Schwärmzellenbildung bei der Fadenalge Oedogonium. A ausgeschlüpfte Schwärmzelle, B bereits festsitzende und durch fortgesetzte Querteilung in einer Richtung zum Faden auswachsende Schwärmzelle.

Wie alle Einzeller mit der Fähigkeit des Ortswechsels begabt sind, so sind auch die ersten Jugendzustände der niedrigen Pflanzen frei bewegliche, tierähnliche, munter durch das Wasser dahin wirbelnde, einzellige Organismen, sogenannte Schwärmer. Als ein Wiener Arzt vor 80 Jahren zum erstenmal unter dem Mikroskope aus einem haarbünnen Zellfaden der grünen Alge Oedogonium einen solchen aus durchsichtigem Protoplasma bestehenden und mit einigen Chloroplasten ausgerüsteten grünen Schwärmer herausschlüpfen und sich mit einem am Vorderteile befindlichen Kranze von schwingenden Ruderfäden wie ein Tier im Wasser herumtummeln sah, da erstaunte er nicht wenig über diese für ihn zunächst unbegreifliche Erscheinung und schrieb darüber eine gelehrte Abhandlung mit dem merkwürdigen Titel: Die Pflanze im Moment der Tierwerdung.

Digitized by Google

Heute sehen wir nichts Wunderbares mehr in dieser uns vollkommen geläufigen Erscheinung, da wir wissen, daß Tier und Pflanze denselben Ursprung haben und die Pflanze vielfach bei der Geburt die Fähigkeit aller Einzeller bewahrt hat, wie das Tier nach Belieben den Ort zu wechseln.

Alle diese grünen Algenfäden, mögen sie nun Oedogonium, Ulothrix oder sonstwie heißen, stellen überaus einfache Organismen dar, in welchen Algenzelle an Algenzelle, jede für sich mit ihren Chloroplasten ausgestattet und damit zu selbständigem Leben befähigt, zu einem langen Faden aneinandergereiht ist, der durch immer weitergehende Teilung einer Zelle nach einer Richtung entstund. Die einzelnen Tochterzellen blieben eben einfach nach der Teilung aneinander und kapselten sich durch Ausscheidung einer aus Cellulose oder Zellstoff bestehenden schützenden Haut gegen die Außenwelt ab, um ungestört der Assimilation leben zu können. Durch die gewöhnliche Zellteilung vergrößert sich nur der einzelne, ursprünglich an einer Unterlage haftende, später aber durch die Bewegungen des Wassers abgerissene Faden. Will also ein solcher pflanzlicher Organismus der einfachsten Art sich vermehren und zur Verbreitung der Art Tochterorganismen aus sich hervorgehen lassen, so greift er zum ursprünglichen Mittel, das nicht nur das Tier, sondern auch die niedere Pflanze regelmäßig anwendet, und sendet einen Schwärmer aus. Die Zellen des Organismus, denen diese Aufgabe zufällt, müssen sich aber bei der Pflanze aus dem starren Gehäuse der Zellmenbran befreien. Das geschieht, indem sich der lebende Zellleib von der von ihm abgeschiedenen Haut zurückzieht und sich zu einem rundlichen Klumpen formt. Dann bildet sich seitlich in der Zellhaut eine Öffnung, oder das Gehäuse bricht ganz auseinander und der zum Auswandern bestimmte Zellleib schlüpft dadurch nach außen und gelangt ins Wasser. Auf diese Weise zur Freiheit gelangt, nimmt er eine eiförmige Gestalt an und bildet am farblosen zugespitzten Vorderende eine bestimmte, bei den verschiedenen Arten wechselnde Anzahl von Ruderfäden, mit denen er sich lebhaft im Wasser herumtreibt. Mit den Geißelfäden schwingend und mit seinem Assimilationsapparate die zu seinem Leben und Wachstum nötige Nahrung selbst erwerbend, eilt er zunächst planlos nach einer bestimmten Richtung durchs Wasser. Vorerst stößt er dabei stets wie ein unerfahrenes Tierjunges an alle möglichen Gegenstände, die ihm in den Weg kommen, an, doch bald lernt er diesen Hindernissen fein säuberlich aus dem Wege gehen, sammelt also sichtbarlich Erfahrung. Und wenn er nach einigen Stunden der regsten

Digitized by Google

Lebensbetätigung ruhig geworden ist, heftet er sich an irgend einer ihm zusagenden Stelle, wohin er gerade geführt wurde, mit eben jenem Vorderteile an, zieht seine Ruderfäden oder Geißeln ein, bildet zu einem Schutze eine neue Zellhaut und wächst durch beständig nach einer Richtung vor sich gehende Zweiteilung zu einem langen Algenfaden aus. Indem nun die einzelnen Zellen dieser Fäden immer neue Schwärmer aussenden, verbreitet sich die Art auf diese Weise nach und nach über das ganze Gewässer. So wechselt also bei diesen allereinfachsten pflanzlichen Organismen der für das Pflanzendasein typische Starrezustand regelmäßig mit tierischer Beweglichkeit ab, indem die Schwärmzelle, die ihr wie allen Einzellern zukommende freie Ortsveränderung vollzieht.

Diese ungeschlechtliche Fortpflanzung durch Schwärmzellen ist aber nicht die einzige, selbst so überaus niedrig organisierten Algen zukommende Art der Ausbreitung. Von Zeit zu Zeit, nämlich stets am Ende eines Entwicklungszyklus und vor Beginn eines neuen, schiebt sich bei diesen Organismen eine geschlechtliche Fortpflanzung ein. Es werden zu diesem Zwecke in den betreffenden Zellen der Algenfäden ebenfalls Schwärmzellen gebildet, diesmal nur kleinere, dafür aber in größerer Zahl und nur mit der halben Chromosomenzahl. Das sind nun Gameten oder geschlechtliche Schwärmer, die auch nur die Hälfte der Zahl von Ruderfäden wie die ungeschlechtlichen Schwärmer — also nur zwei wie sonst vier bei Ulothrix — besitzen. Auch sie treten durch ein Loch in der Zellmembran nach außen und treiben sich, mit ihren Ruderfäden schlagend, munter im Wasser herum. Aber im Gegensatz zu den vorhin besprochenen Schwärmern werden sie nicht direkt zu neuen Algenfäden. Zuvor kopulieren sie sich, indem sie sich paarweise aneinander legen und ihre nackten, weichen Zellleiber mit einander verschmelzen. Sie bilden dadurch eine neue Zelle mit der vollständigen Chromosomenzahl, welche unmittelbar nach der Entstehung die doppelte Zahl der Ruderfäden — also bei Ulothrix vier, statt wie die Gameten nur zwei — aufweist. Dann aber werden die Ruderfäden eingezogen, die Zelle rundet sich ab, umgibt sich mit einer neuen Membran, welche sie aus dem Protoplasmaleib ausscheidet und ruht zunächst. Beim Wiederbeginn der Weiterentwicklung bildet sie nun nicht gleich einen neuen Algenfaden durch aufeinanderfolgende Teilung vereinigt bleibender Zellen, sondern der Inhalt dieser Zelle zerfällt durch Zellteilung innerhalb der Membran in eine größere Anzahl Tochterzellen mit vollem Chromosomengehalt, die aber nicht wie

Digitized by Google

bei der früher besprochenen Pandorina bei einander bleiben, um gemeinschaftlich als Zellengenossenschaft weiter zu leben, sondern sich auflösen, aus der Hülle der Mutterzelle austreten und überallhin zerstreuen. Jede derselben bildet dann für sich einen neuen Algenfaden.

Alle diese Schwärmer reagieren wie alles Lebendige auf jeden sie treffenden Reiz in für sie vollkommen zweckmäßiger Weise, sie suchen als assimilierende Wesen das Licht und die Wärme auf, fliehen jedoch Dunkelheit, Kälte und alle für die Lebensbedingungen ungünstigen Einwirkungen. Schon in diesen Einzellern liegt also das wunderbare Vermögen, auf jede Einwirkung von außen mit einer absolut zweckentsprechenden Bewegung zu reagieren. Diese zweckmäßigen Willenshandlungen schon verkünden im Einzeller das Vorhandensein einer das Leben bedingenden Seele, die befähigt ist zu empfinden, zu wollen und zu überlegen. Es ist nur Fortbildung des schon in den Einzeller gelegten Seelenlebens, wenn wir bei den höheren Pflanzen und unendlich mehr noch in den höheren Tieren Verstandeskräfte sich entfalten sehen, die schließlich zur Bildung eines immer vollkommener eingerichteten Zentralorgans zur Vereinheitlichung der Geistesfunktionen und zur bewußten Vernunftstätigkeit führen mußten.

Digitized by Google

V.

Die Entwicklung des Lebens.

Im Gegensatz zur seßhaft gewordenen, sich selbst genügenden Pflanze, die außer Licht und Wärme nur Wasser zu ihrem Gedeihen braucht, erfolgte die Entwicklung des schon durch seine Lebensweise eine größtmögliche Beweglichkeit ausbildenden Tieres. Von Pflanzenstoff sich nährend, mußte es diesen aufsuchen, und als Räuber von Pflanzenfressern lebend, mußte es seine meist sehr flinke Beute durch rasche Ortsveränderung erhaschen können. Diese mit seiner Ernährungsweise zusammenhängende Ausbildung einer größtmöglichen Beweglichkeit in Verbindung mit der Entwicklung von sehr scharfen, die ganze Umwelt prüfenden Sinnen mußte beim Tiere von selbst zu einer viel weitergehenden Zentralisation der Lebensfunktionen als bei der auf sich selbst angewiesenen Pflanze führen. Letztere brauchte das alles nicht und unterließ deshalb eine Weiterausbildung der auch ihr ursprünglich zukommenden Fähigkeit der Lokomotion und des damit zusammenhängenden regeren Sinneslebens. Sie bildete sich zum passiv vegetierenden, aber durch die Fähigkeit des Aufbaues von organischen Stoffen aus dem unorganischen Rohmaterial zur naturnotwendigen Erhalterin des Lebens auf Erden aus. Das aktiv regsame Tier jedoch konnte auf der von ihm eingeschlagenen Entwicklungsbahn nur vorwärts kommen durch eine vollkommene Zentralisation aller Funktionen seines Organismus durch die weitgehendste Arbeitsteilung in seinem Zellenstaate.

Wenn wir auch keine sicheren Übergangsstufen von Einzellern zu Vielzellern in der uns heute zugänglichen Schöpfung haben, so können wir doch ganz gut aus Analogien den Prozeß der Tierwerdung verfolgen, von dem Momente an, da das Leben aus einer Zusammenrottung von Einzellern den Weg zur Bildung von vielzelligen Organismen

Digitized by Google

einschlug, bis zuletzt das ideale Tier mit seiner höchst weitgehenden Leistungsfähigkeit, wie sie uns jetzt für dasselbe selbverständlich erscheint, entstanden war. Wir kennen hier auch nur Vorstufen zur Organismenbildung, wie die im vorigen Abschnitte erwähnten Protozoen, bei denen die durch Teilung entstandenen Individuen, statt sich zu trennen und ein selbständiges Leben zu führen, durch strangförmige Protoplasmafäden im Zusammenhange bleiben und einen Tierstock bilden, der aber noch keine engere Verbindung der Zellen untereinander mit den ersten Anfängen einer Arbeitsteilung aufweist, wie sie für ein auf der Stufe der Tierwerdung befindliches Wesen charakteristisch ist. Die modernsten Lehrbücher der Zoologie führen zwar vielfach als Übergang von den einzelligen Protozoen zu den Metazoen die winzige Gruppe der Mesozoen an, welche eine Anzahl sehr einfach, teilweise aber sehr verschieden gebauter Tiere zusammenfaßt, die aber diese ihre Einfachheit wohl weniger daher haben, daß sie heute noch lebende Zwischenformen zwischen Protozoen und Metazoen darstellen, als vielmehr eine solche erst sekundär infolge einer durch ein Schmarotzerleben oder andere Umstände hervorgerufenen Reduktion erlangt haben. Die wichtigsten Formen derselben sind: 1. Trichoplax, als eine glatt bewimperte Scheibe ohne innere Höhlung, bestehend aus einer unteren Cylinderzellenlage

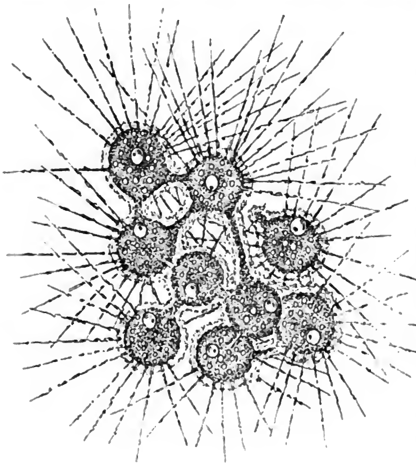


Fig. 98. Protozoenstock mit strangförmigen Verbindungen der einzelnen Individuen unter einander als Vorstufe einer Organismenbildung. (Sehr stark vergrößert.)

Digitized by Google

und einer oberen Plattenepithellage, mit einer Lage zellenreichen Gallertgewebes dazwischen. Dieser winzige, höchst einfach aus einer Vielheit von Zellen aufgebaute Organismus lebt im Mittelmeere und pflanzt sich durch Teilung fort. 2. Die Dicyemiden. Es sind dies in den Nieren von Cephalopoden oder Tintenfischen schmarotzende, höchstens einige Millimeter lang werdende Tierchen. Die Weibchen derselben sind wurmförmig und bestehen aus einer einzigen zentralen, sehr großen Zelle, der Achsenzelle, die von einer einfachen bewimperten Zellenschicht, Ektoderm oder Außenschicht genannt, umgeben ist. Die weit kleineren, kurzen Männchen enthalten statt der einzigen langgestreckten Achsenzelle, die beim Weibchen die Eier erzeugt, welche sich innerhalb derselben zu Jungen entwickeln, mehrere Zellen, von denen sich einige zu Spermatozoen oder Samenkörperchen entwickeln. Neben der Fortpflanzung durch befruchtete Eier tritt bei ihnen aber auch eine ungeschlechtliche sogenannte parthenogenetische Entwicklung auf, wobei die Weibchen in verschiedenen Formen auftreten. 3. Die Orthonectiden mit der Gattung Rhopalura, die ebenfalls als Schmarotzer in Schlangensternen, Borstenwürmern und Nemertinen oder Schnurwürmern leben, erinnern sehr an die vorigen, von denen sie dadurch abweichen, daß die Innenschicht des Weibchens nicht aus einer Zelle, sondern von einem großen Zellhaufen, dem Entoderm oder der Innenschicht besteht. Diese Entodermzellen werden dann teilweise zu Eiern und wachsen nach der Befruchtung zu neuen Organismen aus.

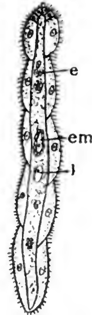


Fig. 99. Weibchen von Dicyema. Um die lange Achsenzelle mit Kern k die einfache wimpernde Zellschicht des Ektoderms mit vier Sinneszellen an der Spitze. In der einen entodermalen Achsenzelle entwickeln sich die Eier e zu Embryonen em. (Stark vergrößert.) Nach Whitman.

Alle Metazoen oder tierischen Vielzeller sind auf den frühesten Stufen der Entwicklung ähnlich einfach wie diese Mesozoen gebaut, indem der sie bildende Zellenstaat in Anwendung des sozialen Prinzips der Arbeitsteilung eine geschlossene Einheit mit zentralisierter Leitung bildet. Auch hier ist allein schon durch die für das Suchen von Nahrung bedingte große Beweglichkeit und Regsamkeit ein Aufbau des sich alsbald in zwei verschiedenen Zellschichten, einer ektodermalen Außenschicht und einer entodermalen Innenschicht, gruppierenden Zellen-

Digitized by Google

haufens in einer Längsachse mit einem vorne und hinten, einem oben und unten durchgeführt. Vornehin kamen die Sinneszellen zum Erspähen und Auskundschaften der Umgebung, nach der sich der Körper hinbewegte, zur Ausbildung, zugleich auch ein Mund zum Ergreifen und Schlucken der Beute, und hinter ihm schloß sich der übrige Leib mit den rein somatischen, die Fortbewegung und Fortpflanzung besorgenden Zellen an.

.So lange das sich zum zentralisierten Zellenstaat umbildende mehrzellige Wesen noch so klein war, daß die Nahrungsaufnahme durch die gesamte Körperoberfläche genügte, war noch kein besonderer Darmkanal nötig; deshalb fehlt auch ein solcher den Mesozoen, wie ihn jedenfalls auch die ältesten, noch aus wenig Zellen bestehenden Metazoen der Urzeit entbehrten. Erst als die Nahrungsaufnahme durch die äußeren Körperzellen nicht mehr genügte, bildete sich ein Verdauungsorgan durch Einstülpung der Leibeswand aus. Dadurch wurde ein speziell mit der Resorption der Nahrung betrautes wichtiges Organ geschaffen.

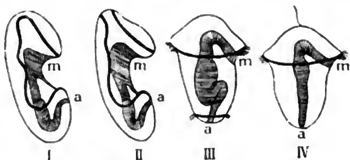


Fig. 100. I. Larve einer Holothurie. II. Larve eines Seesterns. III und IV Larven verschiedener Würmer. m Mundöffnung, a After; die Erweiterung dazwischen ist der Magen. Die dicken Linien geben den Verlauf der Wimperschnüre an.

Wie so in der Urzeit der Verdauungskanal seinen Ursprung nahm, bilden ihn noch die frühesten Entwicklungsstufen aller Metazoen, sobald die durch Furchung entstandene Zellenzahl eine bestimmte Größe erreicht hat. Die Keimblase stülpt sich zu einem nach vorne geöffneten Becher, einem Magensacke, die Mund und After zugleich bildet, aus, indem ganz einfach das Unverdauliche bei seiner Ausstoßung aus dem Körper denselben Weg, den der Bissen zurücklegte, wiederum ging. So besitzt der im ausgebildeten Zustande aus zweierlei Zellschichten, einer ektodermalen äußern und einer entodermalen innern, aufgebaute Plattwurm wie alle übrigen Tiere heute noch, so lange sie winzige Embryonen sind, weder Blutsystem, noch Leibeshöhle, noch Muskelhaut, noch Darmkanal, noch Gehirn; er weist nur eine vordere Einstülpung auf, die verdaut, und besitzt dazu eine längliche Gestalt, um sich bequemer nach vorwärts schieben zu können.

Erst in einem späteren Entwicklungsstadium der Organismen öffnete sich der Darmkanal gesondert vom Magen zunächst noch nach vorn, dann aber immer weiter nach hinten gerückt, und schließlich am hinteren Leibesende. Bei den Schnurwürmern kam zum erstenmal außer dem After ein Blutgefäßsystem mit rotem Blute auf. In diesem Wurmstamme trat nun ein Auseinanderweichen nach zwei Richtungen hin auf, indem das immer mehr zentralisierte Nervensystem sich unterhalb oder oberhalb des Darmrohrs festlegte. Der erstere Prozeß scheint der ältere gewesen zu sein; ihn schlugen die Ringelwürmer ein, die weiter zu den Gliedertieren führten, die einerseits im Wasser als Krebse, andererseits in der Luft als Insekten ihre höchste Ausbildung erfuhren. Nur in den Asseln hat sich ein winziger Zweig der Krebse völlig dem Landleben angepaßt.

Das zahllose Volk der Insekten, von denen über 300000 heute noch lebende Arten bekannt sind, hat sich aus tausendfüßlerartigen flügellosen Tieren entwickelt, denen die Zottenschwänze mit dem allbekannten Zuckergast oder Fischchen und die Springschwänze mit dem bereits erwähnten Gletscherfloh als altertümliche Formen sehr nahe stehen. Dann entstanden die Urflügler mit noch langgestrecktem Körper, die als Eintagsfliegen und Libellen ihr ganzes Leben im Wasser zubringen, um erst zuletzt glasartig zarte Flügel auszubilden und ein kurzes Leben als Geschlechtstiere zu führen, um so besser für die Ausbreitung der Art sorgen zu können. Weiter bildeten sich die Termitenähnlichen, dann die Geradflügler als Schaben, Ohrwürmer, Gottesanbeterinnen, Heuschrecken und Grillen aus, ferner die Netzflügler, wozu die Köcherfliegen, Ameisenlöwen und einige Bienenschmarotzer gehören, und die Käfer. Bis dahin alles Formen mit kauenden Mundgliedmaßen. Erst unter den Hautflüglern, zu denen die Gallmücken, Schlupfwespen, Wespen, Bienen und Ameisen gehören, wurden neben den kauenden auch saugende Mundgliedmaßen gebildet. Dann erschienen die Schnabelkerfe, deren Mundgliedmaßen zu einem Stechrüssel umgewandelt wurden. Zu ihnen gehören die Wanzen, Zikaden, Schildläuse und Läuse,

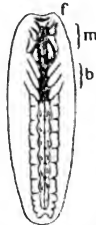


Fig. 101. Embryo des schwarzen Wasserkäfers, Hydrophilus piceus, welcher zeigt, wie bei den Insekten im Gegensatz zu den Wirbeltieren die Bauchseite mit der Einstülpung des Nervenstrangs und den Metameren zuerst angelegt wird. f Fühler, m Mundwerkzeuge, b Beine.

Digitized by Google

ferner die durch Zurückbildung des hinteren Flügelpaares gekennzeichneten Zweiflügler, nämlich Mücken, Bremsen und Fliegen, dann die ganz flügellos gewordenen Flöhe und Sandflöhe, und endlich als Gipfel der ganzen Sippe die Schmetterlinge.

Während alle diese Tierformen ihren Körper durch Ausbildung



Fig. 102. Schema eines Ringelwurms von der Seite; der ganze Körper zerfällt in einzelne Segmente, die außer dem ersten und letzten alle gleich sind. m Mund, a After, c Gehirn, b Bauchganglion, s Segmentalorgane als Sekretionsorgane auf beiden Seiten.

eines Außenskelettes aus Chitin festigten, an das sich dann die bewegenden Muskeln ansetzten, hat der Zweig der Würmergruppe, der das Nervensystem oberhalb des Darmrohrs befestigte, zwischen beide eine Rückenstütze als Innenskelett ausgebildet. Diese letztere begann als feiner Gallertstrang, den man als Rückensaite oder

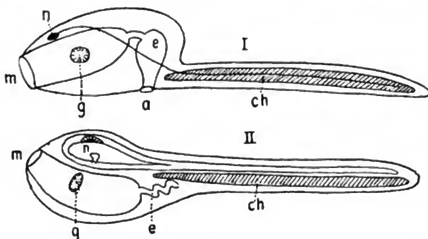


Fig. 103 I Schema einer Appendikularie, von der Seite gesehen, gerade gestreckt. II Dasselbe einer Ascidienlarve; m Mund, g Kiemenhöhle, e Darm, a After, n Gehirn, ch Chorda.

Chorda dorsalis bezeichnet und führte durch zunehmende Verhärtung und Gliederung in einzelne Segmente als eine höchst sinnreiche Beibehaltung des alten Wurmprinzips zur Ausbildung einer Wirbelsäule. Aber bei ihnen war nur noch der Stützstab, nicht mehr der ganze Körper gegliedert; es war dies eine sehr wichtige Neuerung der Chordatiere, die bald reiche Früchte tragen sollte. Oberhalb des Stützstabes

Digitized by Google

bildeten sich dann einerseits schützende Knochenspangen über das durch eine Einstülpungsfurche mit späterer Abschnürung entstandene Rückenmark und andererseits auch solche, wenn auch beweglich bleibend, als Rippen zum Schutze des Darmrohrs und der ihre Sekrete in dasselbe absondernden Drüsen, die aus Ausstülpungen desselben wie auch die Atmungsorgane, nämlich zuerst die Kiemen und dann die Lungen, entstanden waren.

Während nun ein unfruchtbarer Seitenast der Wurmtiere die Bryozoen oder Moostierchen und die Terebrateln oder Schalenwürmer hervorgehen ließ, führte der zu den Tunikaten oder Manteltieren abzweigende Ast der Würmergruppe zum erstenmal das Prinzip der inneren Stützung durch Ausbildung eines Rückenstabes ein. Ein Teil derselben, die Ascidien oder Seescheiden, besitzen zwar als Larven eine Chorda dorsalis, doch setzten sie sich in der Folge fest und schufen zu ihrem Schutze eine feste Hülle aus Holzstoff, in der sie, zu einem passiven Pflanzendasein verurteilt, verkommen mußten. Nur die Familie der Appendikularien, die Froschlarven ähnliche, wasserhelle, bewegliche Tierchen umfaßt, haben durch ihre pelagische Lebensweise, obschon sie sich auch größtenteils mit einer mächtigen Gallerthülle umgaben, die Rückensaite als Stütze des Ruderschwanzes weiter ausgebildet. Sie zeigen uns den Weg, den die Vorfahren der höheren Tiere gegangen sein müssen, um den noch recht unvollkommenen Wurmzustand zu überwinden und zu eigentlichen Wirbeltieren fortzuschreiten.

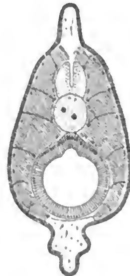


Fig. 104. Querschnitt durch das niederste Wirbeltier, einen jungen Amphioxus lanceolatus. Unter dem von der Einstülpung her noch mit einer Rinne versehenen Nervenrohr liegt die gallertige runde Rückensaite, Chorda dorsalis, und darunter das Verdauungsrohr mit einer von der Abschnürung der Chorda vom Entoderm herrührenden Ausbuchtung. (Schwach vergrößert.)

Bei ihnen wurde die anfänglich noch weiche, gallertige Rückensaite immer solider zu einem Stützstabe des ganzen Körpers ausgebildet. Hier können wir alle Übergänge vom winzigen Lanzettfischchen, Amphioxus lanceolatus, dessen Chorda noch ganz weich ist, bis zum knöchernen Achsenskelett der höheren Wirbeltiere mit Einschluß der Menschen beobachten. Vom Amphioxusstadium in der Vervollkomm-

Digitized by Google

nung weiterschreitend bildeten sich Tiere mit knorpliger Wirbelsäule. Auf dieser Entwicklungsstufe sind die Rundmäuler und Selachier, zu welch letzteren die Haie, Rochen und Chimären gehören, ebenso die Knorpelganoiden oder Störe stehen geblieben. Erst die Knochenganoiden und in viel höherem Maße die Knochenfische haben dann eine viel solidere knöcherne Wirbelsäule ausgebildet. Die fortschrittlichsten unter ihnen verbanden die Schwimmblase durch einen Luftgang mit dem Darmkanal. Zu ihnen gehören die Heringe, Lachse, Hechte, Karpfen, Welse und Aale. Aus ihnen, die ursprünglich reine Meeresbewohner waren und erst nachträglich sich dem Süßwasser anpaßten, entstanden durch Ausbildung der als eine Ausstülpung des Darmrohrs entstandenen Luftblase zur Lunge die Lurchfische, bei denen der alte Kiemenapparat nach und nach überflüssig, zwei Nasenlöcher und das Paar der vordern und hintern Bauchflossen zu der Lokomotion dienenden Gliedmaßen ausgebildet wurden. Dadurch vermochten sie endlich einmal die alte Heimat des Wassers zu verlassen und sich als Amphibien oder Lurche immer mehr das Land zu erobern.

Aber auch die Lurche müssen immer noch ihre Jugendstadien im Wasser durchmachen, denn erst erwachsen verlieren sie die Kiemen und atmen dann ausschließlich durch Lungen. Indem sich Herz und Kreislauf immer mehr vervollkommeten und alle Körperorgane leistungsfähiger wurden, entstanden in der Folge aus ihnen die Reptilien, die als Eidechsen und Schlangen reine Landtiere blieben, wenn sie auch das Wasser immer noch gerne aufsuchen; nur in den Krokodilen und noch mehr in manchen Schildkröten sind sie wieder rückläufig ins Wasser gegangen. Von den Eidechsen haben die Blindschleichen und der ganze Stamm der Schlangen die Seitengliedmaßen wieder abgeschafft und sind zur alten Wurmbewegung durch Kriechen auf dem Bauch zurückgekehrt, wobei sie allerdings eine weitgehende Gelenkigkeit der Wirbelsäule ausbilden mußten. Der Schritt zum Höheren ging aber nicht durch einen niedrigern Zustand zurück; deshalb kommen sie für die weitere Ausbildung des Wirbeltierstammes nicht mehr in Betracht.

Schon auf der Amphibienstufe traten die neu erworbenen Landgliedmaßen in gegenseitige Konkurrenz und entwickelten sich nach zwei Richtungen hin, entweder blieben die vier Extremitäten fast gleichgeformt und gleich groß, an einem gestreckten Körper und langem Schwanz wie beim Salamander, oder aber der Leib verkürzte sich, wurde immer gedrungener, richtete sich auf, wurde schwanzlos und erhielt ungleiche Gliedmaßen, indem die hintern als Hüpfbeine sich ver-

Digitized by Google

längerten, und die vordern, der Aufgabe der Lokomotion entrückt, als ausschließliche Greiforgane viel kürzer blieben.

Durch das ganze obere Wirbeltierreich ging in der Folge der Wettbewerb zwischen diesen beiden gegensätzlichen Typen weiter. Dabei bewies es sich, daß die Vierbeinigkeit nur für das Leben auf dem Boden sich bewährte, daß aber in der ausschließlichen Entwicklung der hintern Extremitäten zu doppelt leistungsfähigen Bewegungsorganen mit dem gleichzeitigen Freiwerden der vordern zu Greifhänden die Möglichkeit des Kletterns auf Bäume gegeben war. Indem dann schon sehr frühe solchermaßen beschaffene Lurche sich im Klettern übten, gelangten sie mit der Zeit dazu, um von einem Baum zum andern zu gelangen, die Oberfläche an und um diese vorderen Extremitäten zu passiven Fallschirmen und dann weiter zu aktiven Flügeln zu vergrößern. So entstanden im Mittelalter der Erdgeschichte die verschiedenen Flugsaurier, aus denen das vielgestaltige Reich der Vögel seinen Ursprung nahm, indem diese das Schuppenkleid der Echsen mit der Zeit in ein leichteres Federkleid umwandelten, das gleichzeitig die infolge viel intensiveren Stoffwechsels und unendlich regsameren Lebens ausgebildete hohe Eigenwärme besser bewahren half. Denselben Weg der Flughandbildung schlugen sehr viel später auch die Fledermäuse ein, während manche Vogelstämme, wie die flugunfähigen Strauße, sich wiederum ganz dem Leben auf ebenem Boden, und andere, wie die Pinguine, sich ganz dem Leben im Wasser anpaßten und demgemäß ihre Flügel durch Nichtgebrauch zu kurzen Stummeln reduzierten oder zu Flossen umwandelten.

Während noch das Froschjunge sein Jugendstadium in Wiederholung der Lebensweise der Ahnen im Wasser zubringt, um erst erwachsen die Kiemen und den Ruderschanz als überflüssig gewordenes Erbteil abzuwerfen und als luftatmendes Landtier Lungen und die in Füße umgewandelten alten Fischflossen zum Ortswechsel zu gebrauchen, hat einst ein Amphibiengeschlecht der Kohlenzeit es wie der heutige Laubfrosch der westindischen Inseln Martinique, Guadeloupe und Portorico, Hylodes martinicensis, glücklich dazu gebracht, seine Jungen ohne Wasser in einer Eischale ihre Umwandlung vom kiementragenden Wassertiere zum luftatmenden Landtiere vornehmen zu lassen. Dieser Frosch ist notgedrungen zu einem solchen Fortschritte gekommen. Er legt nämlich seine Eier wie viele andere Laubfrösche auf Pflanzenblättern ab, da der poröse Tuffboden jener Inseln die Entstehung von dauernden Wassertümpeln nicht zuläßt. In diesen feuchtgehaltenen

Eiern bildet sich nun der junge Frosch bis zu seiner letzten Metamorphose aus und das breite Schwänzchen, das ihm zuvor zum Atmen diente, da keinerlei Kiemen mehr ausgebildet werden, wird wenige Stunden, nachdem er das Ei verlassen hat, resorbiert. Ähnlich der Entwicklung dieses Laubfrosches, dessen frühes Auftreten der Urniere eine weitere Ähnlichkeit mit der Entwicklung der Reptilien darbietet, ging aus einem gewissen alten Geschlechte der Amphibien, die zur Carbonzeit noch ein bald wieder ausgestorbenes Geschlecht riesiger Panzerlurche entstehen ließen, das Reptil hervor, das seine Eier mit immer festerer Schutzhülle umgab, zugleich mit genügenden Nahrungsstoffen als Dotter und den nötigen Atmungs- und Ausscheidungsmöglichkeiten versah, so daß es sich fortan ganz auf dem Lande zu entwickeln vermochte.

Dieser Reptiltypus beherrschte zur Sekundärzeit als damals fortschrittlichstes Geschlecht die ganze Erde in den mannigfaltigsten Anpassungsformen in ganz kleinen bis riesengroßen Vertretern als Pflanzen- oder Fleischfresser, Kriecher oder Hüpfer, Springer oder Kletterer, selbst Flieger und eroberte sich in rückläufiger Bewegung als Ichthyosaurier und Plesiosaurier, Krokodile und schlangenähnliche Maassaurier sogar das Wasser, ein sonst der Organisation des luftatmenden Wirbeltieres feindliches Element. Durch die Pneumatisierung der Knochen und die Ausbildung eines Federkleides zur Erleichterung des Gewichtes und zur Aufrechterhaltung der gleichmäßig hohen Körpertemperatur hat am Ende der Sekundärzeit das Reptil denjenigen Weg betreten, der es zur Herrschaft über den ganzen Luftraum führte, wohin ihm später nur ganz schüchtern ein bedeutungsloses Zweiglein der Haare statt der Federn als Schutzpanzer gegen die Wärmeausstrahlung bildenden Säugetiere in Gestalt der Fleder-, d. h. Flattermäuse gefolgt ist.

Was bereits die höheren Reptile vorsorglich angestrebt und auch in immer weitergehendem Maße erreicht hatten, nämlich durch vermehrte Wärmebildung die Eientwicklung der Jungen, deren Hütung nun nicht mehr aus dem Auge gelassen wurde, von der unzuverlässigen Witterung unabhängig zu gestalten und zu beschleunigen, führte zur Ausbrütung der Jungen in einem Neste, eine Methode, die schon bei den Riesenschlangen geläufig wurde und bei den Vögeln eine vollendete Ausbildung erlangte.

Aber auch dieser höchste Fortschritt des Reptilstammes wurde zu Ende der Sekundärzeit überboten, als ein den altertümlichen höheren

Amphibien nahestehender Zweig wechselwarmer Kriechtiere ebenfalls eine konstante höhere Eigenwärme ausbildete und den Körper als schlechten Wärmeleiter mit Haaren bedeckte, die gleicherweise wie die Schuppen und Federn aus einer Wucherung der den Körper bedeckenden Epidermiszellen entstanden. Wie die hohe Eigenwärme und die zur Erhaltung derselben nötige Hautbekleidung sind auch die Atmungsorgane der Säugetiere unabhängig von denjenigen der Reptile aus einem gewissen Amphibienstadium hervorgegangen. Wie später die Hoden sind die Lungen bruchartig im Laufe der Entwicklung aus der für die Verdauungsorgane reservierten Bauchhöhle herausgestoßen worden. Dabei wurde ein Teil der Körperwand bei der extraabdominalen Entwicklung der Lungen in die Leibeshöhle hineingepreßt und bildete so das Zwerchfell, das aus dorsalen und ventralen Muskelbändern entstand, die sich als Scheidewände zwischen Lungen und Herz einerseits und die Baucheingeweide andrerseits hineinschoben. Eine Zusammenziehung dieser Zwerchfellmuskeln bewirkte eine Abflachung des Gewölbes nach unten, gleichzeitig aber auch eine inspiratorische Erweiterung der Lungen und eine Füllung des Herzens mit Blut. Damit konnte nun viel leichter als in der alten Weise durch Zusammenziehungen des Brustkorbes geatmet werden.

Die Ausgangsform dieser Zwerchfellneuerung finden wir schon bei primitiven Amphibien, den Stegocephalen der Kohle- bis Triaszeit. Während vorher die mittleren Schichten der Körperwand durch die Verlängerung der Rippen und Rippenknorpel bei gewissen frühen Formen des Amphibienstammes bei der Atmung tätig gewesen waren, wurde bei den Reptilen das weiter ausgebildete Zwerchfell der Lurche nach vorn zu gegen die Lungenspitzen gerichtet und die Muskelelemente der Funktion entsprechend ausgebildet. Bei den Vögeln, die sich darin den Säugern näherten, wurde es durchbrochen, nur die muskulösen dorsalen Partien gingen verloren und wurden durch Brustteile ersetzt. Bei den Säugern wurde es zwar auch durchbrochen, blieb aber in seiner Gesamtheit erhalten, was für die spätere ausgiebige Atmungsfunktion von größter Wichtigkeit wurde. Die Bildung eines Halses und die Aushöhlung der vorderen Körperhälfte zum Brustraum zur Aufnahme von Lungen und Herz haben den Kopf mit dem zahnbewehrten Munde und der sich daran anschließenden Luft- und Speiseröhre weiter vom Bauch weg nach vorne gerückt.

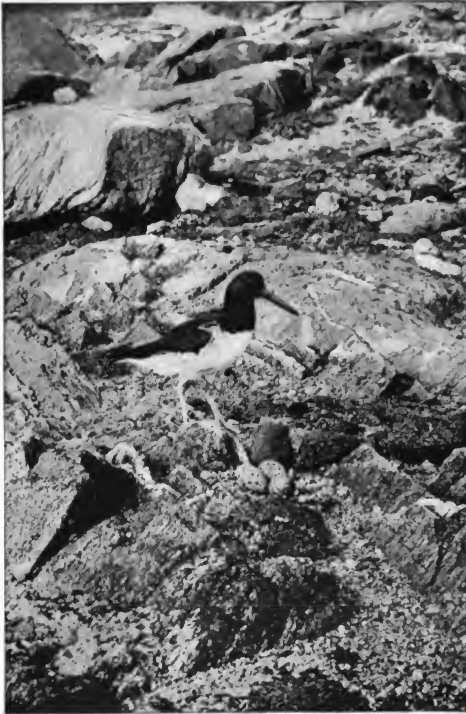
Während die niedrigsten, ältesten Säugetiere mit noch recht unentwickelter Behauptung einer höheren Eigenwärme einige wenige, meist

Digitized by Google

zwei Eier legten, die sie nach Vogelweise auf einfachem Lager an geschütztem Orte ausbrüteten, wie dies das bereits erwähnte, heute noch in Australien lebende Schnabeltier tut, nahm ein fortschrittlicher Zweig derselben, dessen Abbild der gleichfalls in dem altmodischen Australien bis auf unsere Zeit erhalten gebliebene Ameisenigel ist, das einzige zur Zeit gelegte Ei in eine unpaarige, sackartige Vertiefung der Bauchseite auf, um es hier vollends auszubrüten. Bei dieser Bebrütung stieg die Temperatur im Brutsacke, wie beim Ameisenigel festgestellt werden konnte, um mehrere Grade über diejenige des übrigen Körpers.

Diese Beutelbebrütung führte zum Beuteltiere, das zwar keine mit dünner Kalkschale umgebene Eier, wie die altertümlicheren, auch sonst in vielen Beziehungen reptilhaften Kloakentiere, mehr legte. Es behielt vielmehr die mit einer zarten Hülle umgebenen Eier so lange in seinem Körper, bis daraus kleine Embryonen enstanden waren, die nun in höchst unreifem und unvollkommenem Zustande vom mütterlichen Organismus ausgestoßen wurden. Da diese unfertigen Jungen in ihrer absoluten Hilflosigkeit gänzlich auf ihre Mutter angewiesen waren, nahm diese sie alsbald in eine sackförmige, von einer großen Hautfalte begrenzte, vorn offene Höhlung an der Bauchseite auf. Dort saugten sie sich an den an der oberen Wand dieses Tragbeutels befindlichen Zitzen fest, um hier weiter zu wachsen, bis sie mit der Erlangung größerer Reife diesen Schutzort und den darin fließenden Lebensborn immer seltener aufsuchten und schließlich, zur Selbständigkeit gelangt, ihn ganz verließen. Mit diesem Tragbeutel, den nur die weiblichen Tiere bei der Mutterschaft ausbilden, haben die bei beiden Geschlechtern gleicherweise vorkommenden, schon bei den Kloakentieren vorhandenen zwei Beutelknochen, die mit den Schambeinen in Verbindung stehen und sich von diesen in der Bauchwand nach vorn erstrecken, nichts zu tun. Noch weitere Fortschritte in der Fürsorge für die Jungen als diese Beuteltiere, bei deren Embryonen die äußere Embryonalhülle keine in die Wand der vordern, zu einem Fruchthalter umgebildeten Abschnitte der beiden Eileiter sich einsenkenden Zotten zur Ernährung des Embryos aus dem mütterlichen Blute bildet, sondern der Embryo sich durch Aufsaugen einer Absonderung der Fruchthalterdrüsen ernährt — mit einziger Ausnahme der Beuteldachsgattung Parameles, die primitive Zotten und damit den Anfang zur Ausbildung eines Fruchtkuchens, einer sogenannten Placenta, entwickelt — machten die sich zu vollkommenen Säugern umbildenden Tiere, deren

Digitized by Google



Austernfischer, Haematopus ostrilegus, vor seinem Gelege von drei Eiern. Die unregelmäßige Farbenverteilung löst schon auf kurze Distanz den Umriß des Vogelkörpers auf, so daß er zwischen den Felsen verschwindet und ebenso unsichtbar wird, wie sein offen daliegendes Gelege von erdfarben gesprenkelten Eiern.

Digitized by Google

aus kleinen, weil nicht mehr Nahrungsdotter brauchenden Eiern sich entwickelnde Embryonen durch Zotten der äußeren Embryonalhülle mit der Wand des nun zu einem immer vollkommeneren Fruchthalter umgebildeten Abschnittes der Eileiter in engere Verbindung traten. Auf diese Weise entstanden als höchste Tierordnung im Gegensatz zu den noch wie Reptilien Eier legenden Kloakentieren und den aplazentalen Beuteltieren die plazentalen Säugetiere, die als obersten Sproß den Stamm der menschenähnlichen Affen mit Einschluß des Menschen trieben.

Erst bei ihnen war für die Entwicklung der Jungen aufs beste gesorgt, indem die noch bei den Beuteltieren in der Regel nicht mit dem Fruchthalter in Verbindung tretenden Eihüllen dies nun in ausgiebigem Maße taten, indem sie an ihrer Oberfläche feine, sich verästelnde gefäßreiche Fortsätze als Zotten trieben, die sich in entsprechende, von mütterlichem Blute umspülte Vertiefungen der gefäßreichen Wand des Fruchthalters einsenkten und als Aufsaugungsorgane für die Nahrung aus dem Blute der Mutter, wie auch als Ausscheidungsorgane der Schlacken des Stoffwechsels in dasselbe dienten. Dabei wurden die Zotten entweder einigermaßen gleichmäßig über die ganze Eihülle verbreitet, wie bei Pferd, Kamel, Schwein und den aus Huftieren hervorgegangenen Bartenwalen, oder, was sich in der Folge als zweckmäßiger erwies, sie bildeten sich nur an einigen wenigen und schließlich nur an einer einzigen Stelle, die dann eben als Fruchtkuchen, Placenta foetalis, bezeichnet wird, sehr stark aus. So haben die meisten Wiederkäuer eine größere Anzahl stark hervortretender kleiner Fruchtkuchen, die man als Cotyledonen bezeichnet, während sonst von den höheren Säugetieren ein zusammenhängender Fruchtkuchen entwickelt wird, entweder ein gürtelförmiger, wie bei den Elefanten, den Raubtieren und den aus den letzteren hervorgegangenen Seehunden und Zahnwalen, oder ein scheibenförmiger, wie bei den Insektenfressern, Fledermäusen, Nagern und Affen mit Einschluß des Menschen. Bei der Geburt wird dann nach Ausstoßung der Frucht auch der nun überflüssig gewordene Fruchtkuchen mit allen daranhängenden Fruchthüllen ausgestoßen. Und zwar werden bei den älteren Formen, die eine gleichmäßige Zottenentwicklung wie Pferd, Kamel, Schwein usw. oder eine größere Zahl von kleinen Placenten wie die meisten Wiederkäuer entwickeln, die Zotten bei der Ausstoßung des Fruchtkuchens einfach aus den Vertiefungen der Wand des Fruchthalters gezogen; nur bei allen mit gürtelförmigem oder scheiben-

Digitized by Google

förmigem Fruchtkuchen versehenen Tierarten bleibt ein Teil der Schleimhaut des Fruchthalters oder Uterus an den Embryonalhüllen haften und wird mit diesen als Decidua, d. h. abfallende Schicht abgelöst, so daß die Uterusschleimhaut sich nach der Geburt in größerer Ausdehnung regenerieren muß.

Bei dieser Uterinentwicklung machte auch der Blutkreislauf der Embryos seine bestimmte Entwicklung durch. Während noch bei den kiemenatmenden Amphibien die durch Ausstülpung der vordern Wand des Enddarms entstandene sogenannte Allantois zur Harnblase wurde, wird sie bei gewissen Reptilien und allen Vögeln ganz zurückgebildet. Nur bei den eine Placenta ausbildenden Säugetieren kommt ihr als eine Hauptfunktion im Intrauterinleben des Kindes die Aufgabe zu, als Transportmittel der embryonalen Gefäße an die mütterliche Uteruswand zu dienen und dadurch das Zustandekommen der Placenta zu vermitteln. Nach der Geburt wird mit der Abdorrung des Nabelstranges, der in sulziger Hülle die beiden Nabelarterien und die eine Nabelvene enthält, welch letztere das einigermaßen arteriell gewordene und mit Nahrungsstoffen aus dem mütterlichen Blute bereicherte Blut dem Embryo zuführt, und der Zusammenschrumpfung des zwischen Nabel und Harnblase gelegenen Teils der Allantois zu einem soliden, als Urachus bezeichneten Bindegewebsstrang, nur der unterste Teil derselben als Harnblase und Harnröhre beibehalten.



Fig. 105. Schematische Darstellung der Fruchthüllen eines Säugetierembryos, am Amnion, al Allantois, b Dottersack, die äußerste Linie ist die seröse Hülle. Das äußere Blatt der Allantois ist mit der serösen Hülle zu dem mit verästelten Fortsätzen besetzen Chorion verwachsen.

Weil nun die Embryonen der Reptilien, Vögel und Säugetiere durch Umstülpung und Abschnürung der äußern Haut zu einem Sacke, der das sogenannte Fruchtwasser ausscheidet, in welchem die betreffende Frucht während der ganzen intrauterinen Entwicklung vor jedem Druck und anderweitiger Beschädigung geschützt schwimmt, ein Amnion, eine Schafhaut, ausbilden, bezeichnet man diese höheren Wirbeltiere auch als Amnioten. Als weitere Embryonalhülle wächst dann später an das Amnion die bereits erwähnte gefäßreiche Ausstülpung des Enddarms, die Allantois, die teils

als Atmungswerkzeug, teils als Behälter des vom Embryo abgesonderten Harnes dient. Daneben wird bis hinauf zu den höchsten placentalen Säugetieren in Reminiscenz an frühere, noch nicht eine Ernährung und Versorgung des Eies mit mütterlichem Blute im Fruchthalter kennende Zustände, die dafür aber große, reich mit Nahrungsdotter versehene, mehr oder weniger dickbeschalte Eier ausbildeten, immer noch ein Dottersack erzeugt.

In dieser weitgehenden Versorgung und Pflege der Jungen durch den mütterlichen Organismus trat dann noch bei allen Säugetieren — woher sie überhaupt diese Bezeichnung erhielten — eine nach der Geburt in Funktion tretende, immer weiter ausgedehnte Hegung und Säugung an der Mutterbrust hinzu, die um so länger dauerte, je hilfloser die Jungen zur Welt kamen. Diese Milchdrüsen sind modifizierte Talgdrüsen der Haut, die die Milch als eine Art flüssigen Talges ausscheiden. In ihr sind alle Nahrungsstoffe und Nährsalze genau in dem Gewichtsverhältnisse, in welchem die Jungen ihrer zum Aufbau der in der ersten Lebenszeit besonders energischem Wachstume unterworfenen verschiedenen Körpergewebe bedürfen. Für alle Zitzenformen der verschiedenen Milchdrüsen diente als Ausgangspunkt ein Zustand völliger Indifferenz, den die Mammartasche des australischen Ameisenigels als eine periodisch sich ausbildende, taschenförmige Einsenkung der Bauchhaut aufweist. Aus ihr leckte das Junge die darin abgesonderte Milch ab. Erst auf einer späteren Stufe bildeten sich als viel zweckmäßigere Einrichtung Zitzen, die das Junge zum Saugen direkt in den Mund nehmen konnte. Aber immer noch wird aus altererbtem Triebe, obschon diese Bildung heute ganz zwecklos ist, in der Einzelentwicklung eines jeden Säugetiers bis zum Menschen hinauf jene primitive Mammartaschenanlage der noch eierlegenden, halb wechselwarm gebliebenen Kloakentiere vorübergehend ausgebildet.

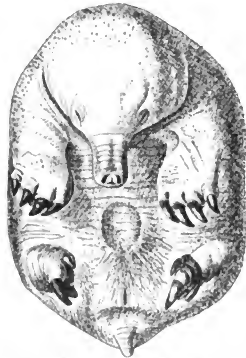


Fig. 106. Junger Ameisenigel der Bruttasche seiner Mutter mit Andeutung einer eigenen Bruttasche, eben der Mammartasche. (1/3 verkleinert.) Nach Semon.

Digitized by Google

So entstand durch immer weitergehende Differenzierung des zu einer einheitlichen Lebensführung zusammentretenden Staates von Einzellern, das vielzellige, einen komplexen Körper mit den verschiedensten Organen aufweisende höhere Tier mit immer zweckmäßiger gebautem Skelett, das von einem mannigfaltigem Muskelsysteme in gewollter Weise bewegt wird. Sobald ein solcher Muskel die ihm vom Gehirn oder Rückenmark zugehende, durch einen zu ihm führenden Bewegungsnerven übermittelte Weisung erhält, zieht er sich in bestimmter Weise zusammen, indem er sich verkürzt, dafür aber entsprechend verdickt, und so die gewollte Bewegung ausführt. Und zwar pflanzt sich der Innervationsreiz beim Kaltblüter, z. B. beim Frosch, bei Zimmertemperatur mit einer Geschwindigkeit von 20 m, bei größerer Wärme von 26 m in der Sekunde fort, während er beim Warmblüter, z. B. beim Menschen, etwa 33 m in derselben Zeiteinheit zurücklegt. Von dem motorischen Nerven wird dann die Erregung durch Vermittlung eines besonderen Endapparates auf den Muskel übertragen, in welchem nebenbei bemerkt eine Verzögerung der Leitung von 0,002—0,003 Sekunden eintritt.

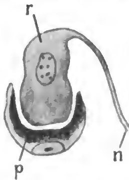


Fig. 107. Einfachste Form des Auges von einem Plattwurm. Eine einzige Sehzelle r ist auf der dem Lichte abgekehrten Seite in eine Pigmentzelle p eingesenkt, welche die seitlichen Strahlen abblendet, n der zur Sehzelle führende Nerv. (Sehr stark vergrößert.) Nach Boas.

Die Muskulatur, die, wie wir früher sahen, außer der Bewegung hauptsächlich auch zur Wärmebildung und Wärmeregulation des Körpers dient, zerfällt in die dem Willen ihres Trägers unterworfenen quergestreiften und die dem Willen nicht unterworfenen, vom vegetativen Nervensystem, dem Sympathicus, abhängigen glatten Muskelfasern, welch letztere besonders in den Wandungen des Darmrohrs und der Blutgefäße vorkommen und deren Zusammenziehungen bewirken. Doch gehen die Zusammenziehungen solcher glatter Muskelfasern sehr viel, nämlich bis 300 mal langsamer als in den quergestreiften vor sich.

Wie alle Muskeln vom zentralen Nervensystem abhängen und von ihm — die quergestreiften von Gehirn und Rückenmark und die glatten vom Sympathicus aus — ihre Bewegungsimpulse erhalten, so dienen andererseits die verschiedenen Sinnesorgane, welche mehr oder weniger modifizierte Teile der äußeren Hautschicht, der Epidermis, darstellen, dazu, dem Zentralorgan bestimmte Eindrücke und Empfindungen

von der Außenwelt zu vermitteln. Als Sehorgane dienen anfänglich in Mehrzahl, bei den Säugetieren dann nur noch in Zweizahl vorn am Kopfende befindliche Augen mit im einfachsten Falle einer einzigen, meist aber sehr vielen Sehzellen, Sinneszellen, die sich dadurch auszeichnen, daß sie am Ende ein aus feinen Stiftchen zusammengesetztes Sehstäbchen tragen, das das eigentliche, den Lichtreiz empfindende Organ zu sein scheint; am andern Ende geht die Sehzelle in eine den empfangenen Lichtreiz zur betreffenden Zentrale des Zentralnervensystems hingeleitende und ihn dort zum Bewußtsein bringende Nervenfaser über. Gewöhnlich liegen die Sehzellen in der Epidermis oder entstammen doch stets derselben, wenn sie auch in tiefere Schichten eingebettet sind, wobei die deckenden Teile natürlich durchsichtig sein müssen, damit das Licht durch sie hindurchdringen könne. In Verbindung mit den Sehzellen findet sich in der Regel Pigment zur Absorption der überschüssigen Lichtstrahlen, um so den Lichteindruck möglichst rein zu erhalten, entweder in den Sehzellen selbst oder noch häufiger dicht bei denselben in besonderen Zellen, so daß die Stelle, wo die Sehzellen sich befinden, als ein dunkler Fleck erscheint. Bei den höheren Tieren sind die Sehzellen in der sogenannten Netzhaut vereinigt und bildet sich zur Konzentrierung der Lichtstrahlen in der Augenblase eine Linse mit dahinter befindlichem durchsichtigen Sekret, dem Glaskörper.

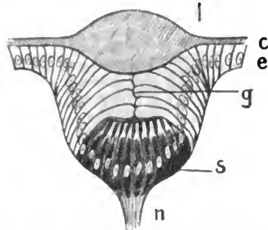


Fig. 108. Schnitt durch das einfache Auge einer Insektenlarve, c Cuticula, e Epidermis, g durchsichtiger Teil der Epidermiszellen, welche über den oben je mit einem Stäbchen versehenen Sehzellen s liegen, l Linse, n Sehnerv. (Sehr stark vergrößert.) Nach Boas.

Der Tastsinn umfaßt eine ganze Gruppe von Sinneseindrücken verschiedener Art, die als Druck-, Wärme-, Kälte- und Schmerzempfindungen zum Bewußtsein gelangen. Die verschiedenartigen Sinneszellen sitzen zwischen den gewöhnlichen Epidermiszellen zerstreut, sind aber auf einer höheren Entwicklungsstufe in warzen- oder fadenförmigen Hautfortsätzen besonders gehäuft und mit den entsprechenden Nervenfasern ausgestattet, die die betreffenden Empfindungsqualitäten dem Bewußtsein übermitteln.

Auf die Geschmacksorgane wirken nur flüssige, auf die

Digitized by Google

Geruchsorgane dagegen nur gasförmige Stoffe. Letztere fehlen also allen Wasserbewohnern; demgemäß müssen z. B. die „Riechgruben" der Fische, die allerdings der Lage nach den Geruchsorganen der höheren Wirbeltiere entsprechen, einem andern Zwecke dienen, als ihre Bezeichnung ausdrückt. Bei den Insekten, die, wie aus sehr vielen Beobachtungen hervorgeht, einen sehr feinen Geruchssinn besitzen, sind die Geruchsorgane an den Fühlern angebracht; bei den die Luft durch zwei Nasengänge vorn am Kopfe einatmenden Warmblütern sind die Geruchszellen im obersten Teile der Nasenhöhle angebracht, während die „Geschmacksknospen" ihren Platz auf der Zunge oder an andern Stellen der Mundhöhle haben. Sie bestehen aus je einer Gruppe

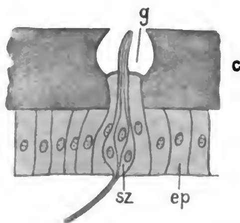


Fig. 109. Schnitt durch ein kleines Stückchen des Fühlers eines Insekts. c Cuticula, g Grube, an deren Boden das Riechhaar hervorragt, sz Sinneszellen, ep Epidermis. (600 fach vergrößert.)

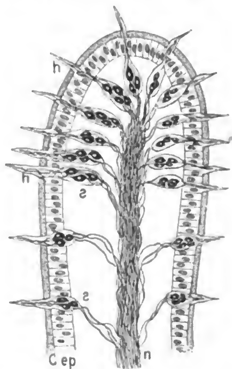


Fig. 110. Querschnitt durch das Ende des Tasters eines Insektes mit Sinneszellengruppen s und nach außen ragenden Sinneshaaren h, c Cuticula, ep Epidermis, n Nerv. Einige der Sinnesnervenzellen liegen in der Epidermis, andere unter ihr. (Stark vergrößert.)

von Zellen, unter denen sich einige lange dünne Zellen mit je einer feinen hervorragenden Spitze als die eigentlichen Werkzeuge des Geschmacksinns befinden.

Diejenigen Organe endlich, die als **Gehörorgane** bezeichnet werden, erscheinen im allgemeinen als von der Epidermis oder Oberhaut eingestülpte, meist abgeschnürte und mit Flüssigkeit gefüllte Blasen, in denen ein oder mehrere feste, aus Kalk bestehende Körperchen, die **Otolithen** oder **Hörsteinchen** sich finden. Ursprünglich besitzen sie

Digitized by Google

— denn noch die Fische sind vollkommen taub — wie die Statocysten nur eine statische Funktion, indem sie ihrem Träger mitteilen, ob er sich im Gleichgewicht befindet oder nicht. Wenn man ein solches Organ zerstört, so wird die Bewegung alsbald unstetig und das Tier fällt auf die Seite. Allerdings treten diese Erscheinungen bei einigen Tieren erst auf, wenn auch die Augen gleichzeitig zerstört wurden. In der Gehörblase der Wirbeltiere kommt diese statische Funktion den Bogengängen zu, während der von einer dünnen Bindegewebsschicht umgebene Epithelüberzug des häutigen Labyrinths in Gruppen die eigentlichen Hörzellen trägt, deren in die sogenannte Endolymphe hineinragende Härchen von deu dagegenschlagenden Schallwellen, soweit sie dafür abgestimmt sind, erregt werden. Durch die Gesamtheit der von ihnen als Gehörnerv nach dem Zentralorgan abgehenden Nervenfasern vermitteln sie dem Bewußtsein ihres Trägers die Schallempfindung in den verschiedenen Tonhöhen.



Fig. 111. Hauptsächlich als statisches Organ dienendes Gehörbläschen einer Muschel. a das durch Erschütterungen bedingte Druckschwankungen im umgebenden Wasser perzipierende Organ, in der Mitte der auf Fühlborsten ruhende Otolith oder Hörstein, unten Eintritt des Gehörnerven. (Stark vergrößert.)

Der Aufgabe, den durch den stetigen Stoffverlust bei der inneren Verbrennung durch Atmung nötigen Ersatz zu beschaffen, dient der allen Metazoen oder Vielzellern zukommende **Darmkanal**, der die erbeutete Nahrung aufnimmt und verdaut, d. h. in einen solchen gelösten Zustand bringt, daß sie von den die Wand des Darmkanals zusammensetzenden Zellen aufgesogen und meist in besondern Gefäßen, den Chylusgängen, weiter in die Gewebe des Körpers übergeführt werden kann. Diejenigen Teile, welche im Darmkanal nicht aufgelöst und aufgesogen werden, gehen wieder als Exkremente nach außen ab, um schließlich noch zahlreichen winzigen Lebewesen, besonders Bakterien, zur Nahrung zu dienen.

Bei den Schwämmen, Korallen, Quallen und Plattwürmern ist der Darmkanal noch ein Sack oder ein Schlauch, der nur durch eine Öffnung mit der Außenwelt in Verbindung steht, die als Mund bezeichnet wird und gleichzeitig auch als After dient. In ihm werden

Digitized by Google

die mit den verdauenden Epithelzellen in Berührung kommenden Nährkörper direkt von dieser aufgelöst und aufgesogen. Kleinere Körper, wie z. B. Diatomeen oder Kieselalgen, werden von den Epithelzellen sogar ganz ergriffen und aufgenommen.

Bei allen höheren Tieren ist der Darmkanal gewöhnlich ein längerer Schlauch mit der Mundöffnung am vordern und der Afteröffnung am hintern Ende. Er zerfällt meist in drei besondere Abschnitte, nämlich: 1. Den oft sehr muskulösen Munddarm, der in verschiedener Weise dazu dient, die mit den Zähnen ergriffene und festgehaltene oder zerkleinerte Nahrung einzuführen. Bei den Wirbeltieren ist dieser Munddarm in die geräumigere, einzig nur Zähne aufweisende und Speichel absondernde Mundhöhle und die engere Speiseröhre geteilt. 2. Den gewöhnlich langen Mitteldarm, in welchem die Auflösung und Aufsaugung der Nahrung vor sich geht, bei den Wirbeltieren in einen vorderen, geräumigeren Abschnitt, den Magen, und einen hinteren längeren Teil, den Dünndarm, zerfallend. Ersterer ist ein Reservoir für die aufgenommene Nahrung, wo sie zugleich der verdauenden Wirkung eines von zahlreichen Drüsen abgesonderten Saftes ausgesetzt wird; in letzterem dagegen wird der Verdauungsprozeß fortgesetzt und der aufgelöste Speisebrei aufgesogen. Nur bei den körnerfressenden Vögeln, die eines Mundgebisses zur Zerkleinerung der harten Speise entbehren, ist der hintere Teil des Magens zu einem Kaumagen umgebildet, während bei den höheren Krebsen der hintere Teil der Speiseröhre erweitert, muskulös und an seiner innern Seite mit festen Teilen ausgestattet ist. Oft werden von körnerfressenden Vögeln — man denke nur an den Strauß, der dafür sprichwörtlich geworden ist — Steinchen, meist harte Quarzkörner, verschluckt, die beim Zerreiben des harten Futters im Kaumagen als Mahlsteine dienen. 3. Endlich den Enddarm, der bei den Säugetieren als Dick- und Mastdarm zur weitern Aufsaugung der

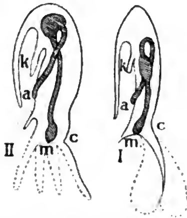


Fig. 112. Schematische Vergleichung der Bewegungs- und Verdauungsorgane eines Ruderfüßlers d. h. einer schwimmenden Schnecke I und eines Cephalopoden oder Tintenfisches II. c Kopf, m Mund, a der in den Trichter mündende After, k Kiemen.

Nahrungsstoffe und zum Behälter des immer mehr eingedickten Kotes dient.

An verschiedenen Stellen des Darmkanals findet man sehr häufig Ausstülpungen der Wand in Form von verschieden gestalteten Blindsäcken. Ihre Funktion ist sehr verschieden: Die Ausstülpungen des Munddarms dienen gewöhnlich als vorläufige Behälter für die aufgenommene Nahrung, so beispielsweise die Backentaschen, der Kropf der Vögel und Insekten. Diejenigen des übrigen Darmkanals bezwecken in der Regel, wie der Blinddarm der Säugetiere und die Ausstülpungen des Darms der Blutegel, eine Ausweitung des Darms zur Vergrößerung der aufsaugenden Oberfläche. Letzterer Zweck wird in manchen Fällen auch auf andere Weise erreicht, so durch eine Verlängerung des Darmes oder dadurch, daß sich an seiner Innenfläche feine Falten der verschiedensten Art bilden, wie z. B. bei den Selachiern (Haifischen und Rochen), ebenso, wie wir von den Koprolithen oder Kotsteinen der betreffenden Tiere wissen, bei den mesozoischen Ichthyosauriern und Plesiosauriern in Form einer Spiralfalte des Darms.

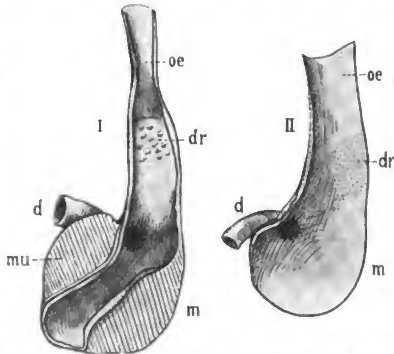


Fig. 113. I Magen des Truthahns als eines körnerfressenden Vogels, und II Magen eines Bussards als eines fleischfressenden Vogels der Länge nach durchschnitten; oe Speiseröhre, dr Drüsenmagen, m eigentlicher Magen mit kräftiger Muskulatur in I mu, d Dünndarm.

Die verdauenden Flüssigkeiten, durch welche die Nahrung aufgelöst wird, werden bei vielen niederen Tieren von den Epithelien des Darmkanals allein abgesondert, während sie bei den höher organisierten Tieren, z. B. den Wirbeltieren, wesentlich oder ausschließlich von besondern kleineren und größeren, vom Darmkanal ausgestülpten und nur noch durch die Ausführungsgänge mit ihm kommunizierenden Drüsen geliefert werden. Die Hauptverdauungsdrüse ist, wie schon

Digitized by Google

an ihrer meist gewaltigen Größe zu erkennen ist, die Leber, die in sehr früher embryonaler Zeit als ventraler, sich bald in zwei Lappen teilender Auswuchs des Mitteldarms entsteht. Die zylindrischen Schläuche dieser Ausstülpung verflechten sich bald untereinander zu einem Netzwerk, das aufs innigste von venösen Verzweigungen der späteren Pfortader durchwachsen wird. Die so nach dem Typus einer Drüse gebildete, durch ihre gewaltige Größe und ihren enormen Blutreichtum sich als ein physiologisch höchst wichtiges Organ bekundende Leber dient der Verarbeitung und Aufstapelung verschiedener, besonders aus Kohlehydraten bestehender Nahrungsstoffe, ferner als Einschmelzungsorgan der verbrauchten roten Blutkörperchen, aus deren Hämoglobin oder Blutfarbstoff der ebenfalls eisenhaltige, braun-grüne Farbstoff von ihr bereitet wird, der ihrem Ausscheidungsprodukte, der Galle, die charakteristische Farbe verleiht, wobei das braunrote Bilirubin durch Sauerstoffaufnahme in das grüne Biliverdin übergeht.

Die ununterbrochen von der Leber gebildete, alkalisch reagierende Galle sammelt sich, so lange während den Verdauungspausen keine Verwendung für sie vorhanden ist, in der Gallenblase, um, daselbst eingedickt, durch den Gallengang zugleich mit dem ebenfalls sehr energisch verdauenden Bauchspeichel im obersten Teile des Dünndarms in den zu verdauenden Speisebrei zu fließen. Ihre Hauptwirkung besteht darin, daß sie vermöge ihres reichen Gehaltes an gallensauren Alkalisalzen sehr energisch freie Fettsäuren aufzulösen, Fett zu verseifen und der Resorption zugänglich zu machen vermag. Sie regt gleichzeitig die Darmtätigkeit an und erhöht die Wirksamkeit der im ebenfalls alkalisch reagierenden Bauchspeichel enthaltenen Fermente oder Enzyme, besonders des fettlösenden Enzyms, des Steapsins, welches die Fette in Glyzerin und freie Fettsäuren spaltet, und des amylolytischen, d. h. wie das Speichelferment Stärkemehl in Zucker verwandelnden Ferments, dessen Wirkung durch kleine Mengen von Salzsäure, wie sie aus dem benachbarten Magen in den obersten Teil des Dünndarms gelangen, gleich wie durch Galle unterstützt wird. Im Gegensatz zum Pepsin des Magensaftes, das, wie wir bei den fleischfressenden, d. h. eiweißverdauenden Pflanzen kurz erwähnt haben, bei Zutritt von 0,17 Prozent Salzsäure beim omnivoren Menschen und 0,46—0,58 Prozent Salzsäure beim karnivoren Hunde Eiweißstoffe unter Wasseraufnahme in einfachere, leicht im Wasser lösliche Körper, zunächst Albumosen und dann Peptone, den Leim der Bindegewebssubstanzen und Knochen in Leimpeptone und das Mucin, den Schleimstoff, in peptonähnliche Sub-

Digitized by Google

stanzen verwandelt, verdaut das proteolytische, d. h. das eiweißlösende Ferment des Bauchspeichels, das Trypsin, die Eiweißkörper bei alkalischer Reaktion, am besten aber bei Gegenwart von Galle. Und zwar geht die Spaltung viel weiter als durch das Pepsin, indem es die Eiweißkörper nicht nur bis zu leicht löslichen Peptonen, sondern bis zu Leucin, Tyrosin und Asparaginsäure — letztere so genannt, weil sie zuerst in den jungen Trieben des Spargels, Asparagus officinalis, wie anderer keimender Pflanzen entdeckt wurde — (man merke sich auch hier wieder die Identität der tierischen und pflanzlichen Abbaustoffe als Beweis ihres sehr ähnlichen Stoffwechsels), ebenso den Leim vollkommen spaltet. Alle diese Enzyme oder Fermente, d. h. organische, zu den Eiweißkörpern gehörenden Stoffe, welche verhältnismäßig große Mengen anderer organischer Substanzen zu zersetzen vermögen, ohne selber dabei eine Zersetzung zu erleiden, sind stets in den betreffenden Verdauungsdrüsen in einer vorläufig unwirksamen Vorstufe, als Zymogene, wie man sich ausdrückt, enthalten und werden erst bei der Absonderung des betreffenden Verdauungssaftes frei, so daß sie wirken können.

Die Absonderung aller Verdauungssäfte wird durch einen komplizierten, aber höchst ingeniösen Vorgang, auf den wir hier nicht näher eingehen können, reflektorisch von aus dem Gehirn entspringenden Nerven ausgelöst. In nüchternem Zustande, wenn keine Eßlust vorhanden ist, werden sie gar nicht oder nur in sehr geringem Grade abgesondert, mit einziger Ausnahme der Galle, die beständig gebildet und von der Leber abgegeben wird, sich aber, wie gesagt, in der Gallenblase sammelt, um von dort nur nach der Nahrungsaufnahme in das Verdauungsrohr ergossen zu werden. Diese Galle stellt darum auch keine reine Verdauungsflüssigkeit dar, sondern enthält viele Abbaustoffe und Abfallsprodukte des Stoffwechsels, die in derselben nach dem Darme entleert werden. Ist aber Eßlust vorhanden und wird die Speise verzehrt, so greift automatisch der komplizierte Mechanismus der Verdauung ein, eine Drüse nach der andern sondert in der nach der Beschaffenheit der aufgenommenen Nahrung am zweckmäßigsten erkannten Reihenfolge ihre besonders gemischten Säfte ab, die, harmonisch sich gegenseitig ergänzend und gleichzeitig in die Hände arbeitend, den Verdauungsprozeß auf dem direktesten und raschesten Wege zu Ende führen.

Die Sekretabsonderung ist natürlich durchaus keine Filtration aus dem die Drüsen reichlich umspülenden Blute, sondern dieses Sekret

Digitized by Google

ist in jeder Drüse vollkommen verschieden beschaffen, also das Produkt einer spezifischen Arbeit der betreffenden Drüsenzellen, die durch Nerveneinfluß vom Gehirn aus, nicht durch das Bewußtsein, wohl aber durch das automatisch arbeitende Unterbewußtsein des tierischen Organismus reguliert wird. So liegen die nervösen Zentren der Speicheldrüsen, wie aller übrigen Verdauungsdrüsen und aller dem Bewußtsein und dem Willen nicht unterstellter animalischer Vorgänge, wie Herzschlag, Atmung, Wärmeregulation usw., im Halsmark. Nicht unter dem direkten Einflusse des Willens stehend werden sie am gewöhnlichsten durch reflektorische Einwirkung von der Mundhöhle aus in Tätigkeit gesetzt. Schon der Geruch und Geschmack einer Speise lösen die betreffende spezifische Absonderung aus, welche durch die Kaubewegungen erheblich gesteigert wird.

Die Absonderung der Ohrspeicheldrüse, welche bei Giftschlangen das betreffende, meist durch Herzlähmung tötende Gift absondert, wird beim Hunde beispielsweise besonders durch das Fressen wasserarmer Stoffe ausgelöst; und zwar ist der Gehalt des Speichels an Mucin oder Schleim mit fortschreitendem Essen immer größer. Dadurch werden die aufgenommenen Bissen schlüpfrig gemacht und gleiten mit Leichtigkeit aus dem Schlunde durch die Speiseröhre in den Magen. Der automatische Schluckreflex wird ausgelöst, sobald der Bissen hinter den weichen Gaumen in die Gegend der Halsmandeln gedrängt wird. Der Vorgang wird zwar vom Willensakte eingeleitet, verläuft dann aber, vom Schluckzentrum im Halsmarke reflektorisch ausgelöst, unabhängig vom Willen. Automatisch zieht sich die Speiseröhre um den eingespeichelten Bissen zusammen und schiebt ihn zuletzt in den Magen, der sich zu diesem Zwecke rasch öffnet und wieder schließt. Im Magen wird die Verdauung eingeleitet, um erst im Dickdarme zu Ende geführt zu werden. Ist letzteres geschehen, so erfolgt automatisch, ebenfalls von einem Zentrum im Halsmarke dem Bewußtsein kundgegeben, durch Defäkation die nötige Entleerung der unverdaulichen Schlacken aus dem Darme.

So spielt sich das Wunder der Verdauung — denn alle Lebensvorgänge sind für uns wunderbare, unserer letzten Erkenntnis vollkommen entrückte Vorgänge — in allen Fällen dem betreffenden Wesen ganz unbewußt auf das beste und schnellste ab. Schon 5 Minuten nach Beginn einer Scheinfütterung wird beim Hunde, wie Prof. Pawlow in St. Petersburg durch eingehende und sorgfältige Versuche zum erstenmal einwandfrei feststellte, die Magensaftabsonderung

Digitized by Google

reflektorisch vom wichtigsten vegetativen Nerven, dem Nervus vagus, ausgelöst. Die Menge und Beschaffenheit des Magensaftes ist dabei je nach Art der Speise verschieden, aber stets genau der Verdauung des eingeführten Futters angepaßt. So greift ein Vorgang, eine Drüse, eine Bewegung des Darmrohrs in die andere, um die Verdauung aufs prompteste und zweckmäßigste zu Ende zu führen. Und zwar ruft bei solchen Tierversuchen eine direkte mechanische Reizung der Magenschleimhaut oder einer andern Stelle des Verdauungsrohrs keinerlei Saftabsonderung hervor, als wüßte der Organismus, daß er nur geprellt werde.

Nur bei wenigen Metazoen oder Vielzellern fehlt ein Darmkanal ganz. Es ist dies vor allem bei den als Schmarotzer im Speisebrei des Darmkanals anderer Tiere lebenden Bandwürmern und Kratzern der Fall, die die sie allseitig umgebende Nahrung durch Endosmose durch die Haut hindurch aufnehmen. Dann fehlt er auch bei gewissen sehr kurzlebigen Tieren, die erwachsen überhaupt keine Nahrung mehr aufnehmen, wie der zweigeschlechtigen Generation der gefürchteten Reblaus Phylloxera und den gegenüber den wohlausgebildeten und mit gut funktionierendem dreiteiligem Darme versehenen Weibchen winzigen Männchen der Rädertiere, die nur einen ganz rudimentären Darmkanal ohne Mundöffnung besitzen. Letztere entwickeln sich vorübergehend im Herbst aus unbefruchteten dünnschaligen Sommereiern, um die Weibchen zur Ablage der dickschaligen Dauereier zu befruchten, die sich erst nach längerer Ruhezeit im kommenden Frühjahre entwickeln, um zunächst mehreren Generationen von parthenogenetisch, d. h. ohne Befruchtung erzeugten Subitan- oder Sommereiern das Leben zu schenken.

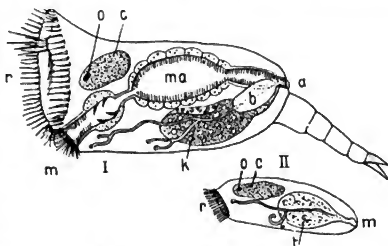


Fig. 114. Schema des Weibchens I und des erwachsenen, nicht mehr verdauenden Männchens II eines Rädertiers, einer Rotatorie. m Mund, ma Magen, a After, o Auge, c Gehirn, b kontraktile Blase, k Eierstock, t Hoden, r Räderorgan. (Stark vergrößert.)

Vom Blutgefäßsystem, als einem geschlossenen System baum-

Digitized by Google

artig verzweigter Röhren, in denen das Blutwasser mit den weißen und den bei den Kaltblütern und Vögeln kernhaltigen, meist runden, nur bei Amphibien, Reptilien und Vögeln, den meisten Fischen und den Kamelarten ovalen roten Blutkörperchen vom Herzmuskel getrieben kreist, war schon bei der Besprechung der Atmung kurz die Rede. Hier sei nur bemerkt, daß noch das niedrigste Wirbeltier, der Amphioxus, farbloses Blut wie die Wirbellosen besitzt. Der Regenwurm, die Larve der großen Stechmücke und andere haben zwar schon rotes, hämoglobinhaltiges Blutwasser, aber noch farblose Zellen. So zeigen auch manche Weichtiere teils rotes, violettes, bräunliches, grünliches oder nur einfach opaleszierendes Blut mit farblosen Blutkörperchen, eigentlich amöboiden Zellen. Es ist nun leicht erklärlich, daß je größer bei den Wirbeltieren die roten Blutkörperchen sind, um so geringer die Zahl und die Gesamtoberfläche derselben in einem Volumen Blut sein muß. Nur bei den Vögeln ist trotz der bedeutenderen Größe der roten Blutkörperchen ihre Zahl doch relativ größer als bei den Vertretern der andern Wirbeltierklassen. Es hängt dies damit zusammen, daß überhaupt bei ihnen, die ja, wie wir gesehen haben, die höchsten Bluttemperaturen besitzen, der Stoffwechsel die größte Energie besitzt. Unter den Säugetieren haben die regsameren Fleischfresser mehr Blutkörperchen als die im ganzen viel ruhigeren Pflanzenfresser. In 1 cbmm hat nach Welcker die Ziege 9 720 000, das Lama 13 900 000, der Buchfink 3 600 000, die Eidechse 1 420 000, der Frosch 404 000, der Olm, Proteus anguineus, gar nur 36 000 rote Blutkörperchen. Im Winterschlafe sah Vierordt dieselben beim Murmeltiere von 7 Millionen auf 2 Millionen pro cbmm abnehmen.

Wie bei den höheren Tieren beträgt bei uns Menschen die Gesamtblutmenge (nach genauen Bestimmungen bei Hingerichteten) etwa 7,3 Prozent des Körpergewichtes. Das Gewicht der Blutkörperchen in 100 g defibriniertem, d. h. vom Gerinnungsstoffe befreitem Blute beträgt beim Manne 48 g und bei der Frau, die in allem auf einer niedrigern, weniger entwickelten Stufe verharrt, 35 g. In jedem Kubikmillimeter des Blutes vom Manne sind 5 Millionen, der Frau dagegen nur $4^1/_2$ Millionen rote Blutkörperchen entsprechend 640 und 576 qmm Gesamtoberfläche vorhanden. Die Gesamtmenge der roten Blutkörperchen eines 70 kg schweren Mannes — in 4,9 Liter Blut enthalten — im Betrage von rund 25 Billionen besitzt eine Gesamtoberfläche von 3200 qm, während die Körperoberfläche eines solchen nur 2 qm umfaßt. Diese ungemein große Oberfläche, die die roten

Digitized by Google

Blutkörperchen im Blute aufweisen, ist natürlich für die Atmung von der größten Wichtigkeit! Übrigens schwankt die Zahl der roten Blutkörperchen auch unter normalen Verhältnissen nicht unerheblich. Sie ist während der ersten Lebenstage am größten, nimmt dann bald ab, um während der Entwicklungsjahre zwischen 14 und 19 Jahren, in welchen der Gesamtstoffwechsel eine besondere Höhe erlangt, ein zweites, wenn auch nicht so großes Maximum zu erreichen und langsam gegen das Lebensende zu wieder abzunehmen.

Die roten Blutkörperchen verdanken bekanntlich ihre rote Farbe dem zu 87—95 Gewichtsprozenten in ihnen enthaltenen Hämoglobin, das in dünner Schicht (z. B. im Mikroskop) grünlich, in dickerer erst rot erscheint und, aus dem Hundeblut gewonnen, das hohe Molekulargewicht von 14129 und die chemische Formel $C_{636}H_{1025}N_{164}FeS_3O_{181}$ aufweist. 100 Teile Hämoglobin bestehen aus 96 Teilen eines Eiweißkörpers und 4 Teilen des eisenhaltigen Farbstoffs. Mit dem Sauerstoffe der Luft verbindet es sich zu dem in allen Schichten roten Oxyhämoglobin, wie es in den Arterien kreist. In diesem kommt auf je 1 Molekel Hämoglobin 1 Molekel Sauerstoff, d. h. auf 1 Atom Eisen kommen 2 Atome Sauerstoff. 1 g Hämoglobin kann 1,34 cbcm Sauerstoff aufnehmen. Unaufhörlich gehen die roten Blutkörperchen in großer Zahl zu Grunde und werden, wie bereits erwähnt, in der Leber eingeschmolzen. Ebenso unaufhörlich werden sie aber beim Embryo in Leber und Milz, beim Erwachsenen im roten Knochenmark und der Milz neugebildet. Weiße oder besser gesagt farblose Blutkörperchen besitzt der Mensch durchschnittlich 8000—9000 pro Kubikmillimeter, d. h. auf 1 farbloses Blutkörperchen kommen 500—600 rote. Im Gegensatz zu den kernlos gewordenen roten Blutkörperchen besitzen sie einen Kern, der bald nach ihrem Übertritt aus ihren Entstehungsorten in Milz und Lymphdrüsen gelappt erscheint. Das an der lebenden Gefäßwand niemals gerinnende Blut gerinnt, sobald es mit der Luft oder einem Fremdkörper in Berührung gelangt, und zwar um so schneller, je arterieller es ist. Diese Eigenschaft hat für den Organismus als Schutzmittel gegen Verblutung eine außerordentlich hohe Bedeutung.

Um seiner Aufgabe, überallhin flüssige Nahrung und Sauerstoff zu bringen, gerecht werden zu können, wird das Blut, wie für die wissenschaftliche Welt der Engländer William Harvey im Jahre 1628 zuerst feststellte, durch die Herztätigkeit in Bewegung gehalten, und zwar unterscheiden wir einen großen (Körper-) und einen kleinen (Lungen-) Kreislauf mit je zwei Kapillar- oder Haargefäßsystemen.

Digitized by Google

Für das Blut, welches die Kapillaren des Magens, der Gedärme, der Bauchspeicheldrüse und der Milz durchströmt, kommt noch ein drittes Kapillargefäßsystem dazu, indem es von dort durch die Pfortader nach der Leber und von da erst wieder zum Herzen strömt, um zur Kohlensäureabgabe und Sauerstoffaufnahme aufs neue durch die Lungen getrieben zu werden. Ebenso hat das Nierenblut ein drittes Kapillargefäßsystem zu durchlaufen, indem es zuerst die Malpighischen Gefäßknäuel zur Abgabe von Wasser und verbrauchten Salzen und dann erst die die Nierenkanäle umspinnenden Kapillarnetze, wo besonders der Harnstoff ausgeschieden wird, durchwandert.

Die Regulierung der Blutströmung geschieht durch das Herz mit seinen verschiedenen Klappen, die ein Rückläufigwerden des Blutstromes verhindern. Die Tätigkeit des Herzens wird in mannigfaltigster Weise durch Impulse geregelt, welche dem Herzen von den nervösen Zentralorganen zugeführt werden. Körperbewegungen und Wärme, selbst das Trinken von warmem Wasser, erhöht die Herztätigkeit, während umgekehrt Ruhe und Kälte sie verlangsamen. Während das Kind im ersten Lebensjahre durchschnittlich 130 Herzschläge in der Minute aufweist, besitzt der erwachsene Mann 70, die erwachsene Frau 75 Schläge in der Minute. Der Elefant zeigt deren 25—28, die Katze 120—140, die kleineren Säugetiere und Vögel mit sehr regem Stoffwechsel noch viel mehr in der Minute.

Die Gesamtarbeit der linken Herzkammer allein ist beim erwachsenen Menschen 102,6—205,2 gm und wird zum größten Teile dazu verwendet, den Widerstand im peripheren Blutgefäßsystem zu überwinden; nur ein ganz kleiner Teil wird dazu benützt, der Blutmasse die Geschwindigkeit von 50 cm in der ersten Sekunde zu erteilen. Dabei beträgt beim Menschen der mittlere Blutdruck in der Aorta etwa 150 mm Quecksilber. Er zeigt bei verschieden großen Säugetieren nur verhältnismäßig geringe Differenzen. Steigt der Widerstand in den Gefäßen, so steigt auch entsprechend der Blutdruck, und umgekehrt; er nimmt auch mit der Entfernung vom Herzen nur wenig ab. So beträgt er in den Kapillaren noch etwa $^1/_3$ des Aortadrucks. Die Blutgeschwindigkeit wurde in der großen Halsschlagader (Carotis) beim Pferde während einer Herzzusammenziehung auf 52 cm und in der Pause darnach auf 15 cm in der Sekunde gemessen. Viel schneller verläuft die Ausbreitung der Pulswelle, nämlich beim gesunden Menschen um 7—10 m in der Sekunde. Welche Arbeit diese 15 cm hohe und 10 cm breite Pumpe in unserm Innern leistet, sollen folgende Zahlen

Digitized by Google

dartun. Unser Herz wirft mit jeder Zusammenziehung etwa 100 g Blut in den Kreislauf, bei 70 Zusammenziehungen in der Minute 7 Liter, in der Stunde 420 Liter, im Tage 5040 Liter. Indem es sich dabei 4200 mal stündlich, 100000 mal täglich, 36792000 mal jährlich und 2575440000 mal während eines 70 Jahre dauernden Lebens zusammenzieht, spediert diese unermüdlich Tag und Nacht arbeitende kleine Pumpe mehr als 250000 cbm Blut aus sich heraus. Schon in 2—3 Minuten ist das Blut an seine Ausgangsstelle zurückgekehrt und hat damit einen Umgang beendet. Im Kopfmark liegt das Zentrum der im Nervus vagus verlaufenden, die Zusammenziehungen des Herzens verlangsamenden Herznerven, während die beschleunigenden dem Sympathicus entstammen.

Bei den chemischen Prozessen in den vom Blute mit Nahrung und Sauerstoff versehenen Zellen des Körpers werden außer Kohlensäure auch gewisse andere Abfallprodukte erzeugt, die im Organismus nicht weiter verwendet werden können, ja vielfach als Gifte schädlich auf ihn einwirken würden und deshalb fortgeschafft oder in anderer Weise unschädlich gemacht werden müssen. Diese sämtlichen Abfallprodukte oder Stoffwechselschlacken werden als Exkretionsstoffe oder Exkrete bezeichnet. Abgesehen vom Darm, der einen großen Teil der flüssigen Exkrete und alle giftigen, ins Blut gebrachten Stoffe ausscheidet, und von der Lunge, die mit der Kohlensäure die andern gasförmigen Schlacken aushaucht, dienen dazu bei den höheren Tieren, den Wirbeltieren, zwei drüsige Exkretionsorgane, die man als Nieren bezeichnet; bei den Insekten heißen diese an den Enddarm angeschlossenen schlauchförmigen Drüsen Malpighische Gefäße, bei den Ringelwürmern Segmentalorgane. Ihre Ausscheidung, der Harn, enthält die Exkretionsstoffe meist in gelöstem Zustande, nur ausnahmsweise in Form von in der Flüssigkeit suspendierten Kristallen oder mehr körnigen Konkretionen. Bei den Wirbeltieren ist als Harnblase ein Sack für die Aufspeicherung des beständig abgesonderten Harns ausgebildet, der dann nur von Zeit zu Zeit entleert zu werden braucht.

Der Harn, der die Hauptmenge der stickstoff- und schwefelhaltigen Schlacken des Stoffwechsels wie Harnstoff, Oxyproteïnsäure, Kreatinin, Ammoniak, Harnsäure, Oxalsäure, Hippursäure — letztere ist besonders stark im Harne der Pflanzenfresser vorhanden — Ätherschwefelsäure und aromatischen Oxysäuren, dann aber auch außer Spuren eines gelben, aus dem Blute stammenden Farbstoffs die anorganischen Salze enthält, reagiert bei den Fleischfressern (auch beim Menschen, der solche

Digitized by Google

Speisen ißt) sauer, bei den Pflanzenfressern dagegen von den zahlreichen, im Futter genossenen Kalisalzen alkalisch. Beim erwachsenen Menschen, der etwa 3 Liter Urin im Tag von sich gibt, erscheinen etwa 90 Prozent des im Harn ausgeschiedenen Stickstoffs als Harnstoff oder Carbamid, $CO(NH_2)_2$, dessen Menge vor allem von der Größe der Eiweißzufuhr in der Kost abhängt und bei mittlerer Arbeit etwa 30 g im Tage beträgt. Nächst dem Harnstoffe wird der meiste Stickstoff als Harnsäure $C_5H_4N_4O_3$ aus dem Körper abgeführt. Ihre Menge beträgt beim vorzugsweise von Pflanzenkost lebenden Menschen nur 0,5 g im Tag (im Hunger 0,24 g), bei starker Fleischnahrung dagegen steigt sie bis 2,11 g im Tag, wie auch damit parallel, etwa im Verhältnis von 1 : 45, die Menge des ausgeschiedenen Harnstoffs steigt. Bei den Insekten, Reptilien und Vögeln ist die Harnsäure das wichtigste Ausscheidungsprodukt, im Harne von ausschließlichen Pflanzenfressern fehlt sie dagegen vollkommen.

Bei niederen Tieren sind keine besonderen Drüsen zur Harnausscheidung vorhanden, indem diese Funktion meist vom Darm aus besorgt wird, so daß die Harnstoffe zugleich mit dem Kot durch den After abgehen; ist doch, wie bereits betont, auch bei den Säugetieren der Darm zur Ausscheidung der unbrauchbaren Abbaustoffe noch wesentlich mitbeteiligt. So hat man auch im Chylusdarme verschiedener Insekten Harnsäure nachgewiesen, die nur vom Darmepithel abgesondert worden sein kann. Ein anderes Organ, das bisweilen ebenfalls exkretorische Nebenfunktion besitzt, ist das die Leibeshöhle auskleidende Epithel, das sowohl bei manchen Borstenwürmern, als auch bei den Selachiern (Haifischen und Rochen) Harnstoffe absondert, welche in verschiedener Weise aus dem Körper ausgeführt werden. Auch die Körperoberfläche scheidet, besonders im Schweiße, allerlei giftige Endprodukte des Stoffwechsels aus. Schon der Schweiß gesunder Menschen, in der Dosis von 10—15 cbcm pro Körpergewicht einem Hunde in die Venen eingespritzt, tötet ihn sicher innerhalb 15 bis 48 Stunden unter Erscheinungen von Übelkeit, Erbrechen und Kongestionen des Verdauungsrohrs, welch letzteres eben das Gift auszuscheiden sucht. Giftiger noch als der unter Einwirkung von Dampfbädern abgegebene Schweiß ist der durch Arbeit hervorgerufene, aber unvergleichlich viel giftiger ist der von fiebernden Kranken abgesonderte.

Doch werden die Exkretionsstoffe nicht immer sofort aus dem Körper weggeschafft; manchmal werden sie in vollkommen unschädlicher Form für längere Zeit an gewissen Körperstellen deponiert. So werden

Digitized by Google

beispielsweise bei den Tunikaten oder Manteltieren, die wir als nächste Verwandte des Wirbeltierstammes unter den Wirbellosen und als Erzeuger von Cellulose oder Zellstoff bereits kennen gelernt haben, ebenso bei manchen Krebsen harnsaure Konkretionen in Zellengruppen abgelagert, die mit der Außenwelt keine Verbindung aufweisen. Bei einer Nacktschnecke, deren eigentliche Niere rückgebildet ist, findet man durch den ganzen Körper zerstreute Zellen, welche Harnsäurekonkretionen enthalten. Diese scheinen es also mit ihren Abfallstoffen wie die Pflanzen zu halten. Auch bei manchen Insekten werden in gewissen Teilen des sogenannten Fettkörpers große Mengen von Harnsäure abgelagert; oft werden sie später wieder aus dem Körper abgeschieden, oder der höchste Sparsamkeit ausübende Organismus weiß aus ihnen die verschiedensten, oft prächtigsten Farbstoffe herzustellen, mit denen er sich schmückt. So sind es nur umgewandelte Harnbestandteile, mit denen Wirbellose und Wirbeltiere ihre mancherlei Pigmente bilden, mit denen auch die Insekten, zumal die bunten Schmetterlinge ihre in allen Regenbogenfarben schillernden Flügel und die aus dem Reptilstamme hervorgegangenen Vögel ihr mannigfaltiges buntes Gefieder färben. Für die Hauptpigmente der Fische, Amphibien, Reptilien, Insekten und Vögel ist mit Sicherheit nachgewiesen worden, daß sie aus harnsauren Verbindungen oder Guanin bestehen. Ebenso wie mit den Schuppen und Federn verhält es sich mit dem Haarkleid der Warmblüter. Das aus Abfallstoffen bestehende und durch Wanderzellen aus dem darunterliegenden Bindegewebe in die Epidermis und deren Produkte hineintransportierte Pigment wird dann schließlich bei der Mauser der Vögel und der Haarung der Säugetiere, wie beim Häuten der niedern Tiere, aus dem Körper entfernt. So gelangen die Exkretionsstoffe, nachdem sie eine wichtige Aufgabe erfüllt haben, doch schließlich noch zur Ausscheidung.

Wie der Mensch aus einem Abfallprodukt, dem Teere, mit dem er bis vor wenigen Jahrzehnten nichts anzufangen wußte, und den er deshalb wegwarf, die herrlichsten Anilin- und andere Farbstoffe herzustellen weiß, so versteht auch die überall höchste Zweckmäßigkeit mit größter Ökonomie verbindende Natur noch aus scheinbar wertlosem Materiale höchst wertvolle Produkte zu gewinnen.

Digitized by Google

VI.

Die Ausbildung der Tiere.

Wie aus Einzellern die höchst mannigfaltigen und hochorganisierten Vielzeller, seien es Pflanzen oder Tiere, im Laufe der Jahrmillionen der vorgeschichtlichen Entwicklung hervorgingen, so beginnen heute noch alle vielzelligen Wesen ihre Einzelentwicklung, wie die Stammesentwicklung überhaupt, im einzelligen Ei, das sich in allen wesentlichen Eigenschaften ganz wie ein Protozoon verhält. Nach der ihm zu teil gewordenen Befruchtung, die stets nur durch das Eintreten eines einzigen Spermatozoids oder Samenkörperchens vollzogen wird, dessen Zellkern sich als Samenkern mit dem reifen Eikern zum Furchungskerne verbindet, so genannt, weil damit die Eifurchung eingeleitet wird, beginnt sich das Ei in regelmäßigen Zeitabständen zu teilen. Mit der Befruchtung hat die reife Eizelle, die nur als eine halbe Zelle zu betrachten ist, weil ihr Kern nur die halbe ihm zukommende Chromosomenzahl enthält, die ebenfalls nur eine halbe Zelle in sich fassende Samenzelle aufgenommen und hat damit wieder die volle Chromosomenzahl erhalten.

Bei allen niederen Tieren findet die Befruchtung außerhalb des Körpers der elterlichen Individuen im Wasser statt; dabei gibt das Weibchen die reifen Eier und das Männchen — bei höheren Formen nach vorangegangenen Liebesspielen — gleichzeitig oder kurz darauf den Samen ab. Beiderlei Geschlechtsstoffe mischen sich, wobei die Samenkörperchen Gelegenheit haben, in die Eier einzudringen. Alsbald nach dem Eindringen eines Samenkörperchens scheidet sich um das Ei, z. B. der Echinodermen oder Stachelhäuter (Seeigel und Verwandte), an denen sich dies leicht beobachten läßt, ein zartes Häutchen ab, welches den übrigen Samenkörperchen den Zutritt zum Ei verwehrt. Nur ganz ausnahmsweise, wie z. B. bei den Haien,

Digitized by Google

sollen mehr als ein solches Spermatozoon in das Protoplasma des Eies eindringen können, um die Befruchtung zu vollziehen; die übrigen aber gehen unverrichteter Dinge zugrunde. Immerhin ist diese Ausnahme so wenig sichergestellt, daß wir sie dahingestellt sein lassen.

Bei allen höheren Tieren wird der praktischere, weil sicherere Weg eingeschlagen, daß die Befruchtung im Eileiter stattfindet, in welchen der Same bei der Begattung durch die in die Geschlechtsteile des Weibchens eingeführte Rute des Männchens übergeführt wird. Doch braucht deswegen keineswegs die Befruchtung der Begattung unmittelbar zu folgen, indem bei manchen Tieren der Same längere Zeit im Weibchen aufgehoben werden kann, ohne sein Befruchtungsvermögen zu verlieren, so beim Huhn 2—3 Wochen, bei Fledermäusen mehrere Monate, bei der Bienen-, Ameisen- und Termitenkönigin drei Jahre und mehr. All diese fruchtbaren Stammesmütter der zahlreichen, wohlgeordneten Insektenstaaten werden nur einmal im Leben bei ihrem Hochzeitsfluge von einem Männchen, das darnach zugrunde geht, befruchtet und der dabei erhaltene Samenvorrat, der in eine Samentasche aufgenommen wird, muß für das ganze übrige Leben ausreichen. Häufig, wie z. B. beim Maikäfer, sind die Eier noch lange nicht reif wenn die Begattung stattfindet, so daß schon aus diesem Grunde der empfangene Samen muß aufbewahrt werden können.

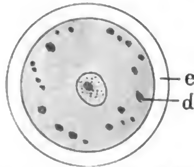


Fig. 115. Ei einer Katze (sehr stark vergr.) aus einer Zelle mit Kern und Kernkörperchen bestehend, welch letztere in diesem Falle als Keimbläschen und Keimfleck bezeichnet werden; e Eihaut, d Dotterkörperchen. Ganz gleich wie dieses sehen alle Eier der höhheren Wirbeltiere mit Einschluß des Menschen aus.

Unter gewöhnlichen Umständen wird, wie gesagt, ein Ei stets nur durch ein einziges Samenkörperchen eines männlichen Tieres derselben Art befruchtet. Doch ist in den meisten Fällen die Befruchtung des Eies einer Tierart mit Samen einer nahestehenden Art möglich; ja selbst unter zwei einander fernstehenden Arten kann sie bisweilen stattfinden. So hat man in neuerer Zeit durch Versuche nachgewiesen, daß Froscheier durch Samen von Wassersalamandern, daß Eier der Scholle durch Samen des Dorsches (nicht aber umgekehrt!), daß Eier von regulären Seeigeln durch Samen irregulärer Seeigel usw. befruchtet werden können; doch ist die Entwicklung des Eies dann ganz unregelmäßig und hört bald auf. Andererseits gibt es gewisse nahestehende

Digitized by Google

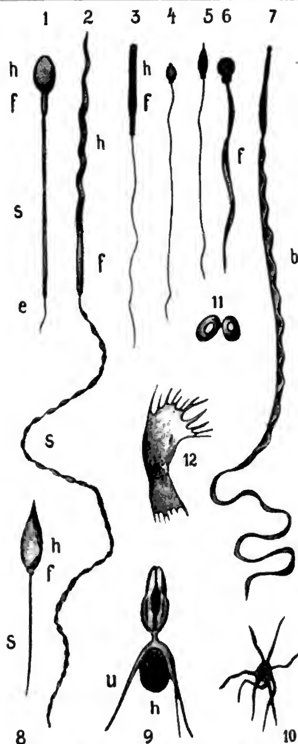


Fig. 116. Spermatozoen oder Samenkörperchen verschiedener Tiere: 1 Mensch, 2 Roche, 3 Möve, 4 Tellerschnecke, 5 Ohrenqualle, 6 Hecht, 7 Käfer, 8 Lungenfisch, Protopterus, 9 Krebs, 10 Rübenälchen, ein Rundwurm, 11 Leuchtkrebs, 12 Daphnie oder Wasserfloh. h Kopf, s Schwanz, f Verbindungsstück, b undulierender Saum, e Endfaden, u unbeweglicher Fortsatz.

Arten, deren Eier und Samen sich nicht vereinigen, also auch keine Befruchtung vollziehen können.

Ist aber die Vereinigung von Eiern und Samen verschiedener Arten möglich, so bezeichnet man den durch diese Kreuzung entstandenen, in der Regel mehr oder weniger unvollkommenen Organismus als einen Bastard. Sehr häufig werden z. B. die Bastarde selbst von nahe verwandten Arten, wie Pferd und Esel, steril, d. h. sie sind außerstande, reife Eier oder Samenkörperchen zu erzeugen, während sie übrigens wohlentwickelte, kräftige Tiere sein können. In andern Fällen ist der Bastard im ganzen schwächlich entwickelt und stirbt bereits als Junges oder gar schon im Foetalzustande ab, wie z. B. die Bastarde von Fasan und Haushuhn.

Es gibt aber andrerseits Bastarde, die ganz ebenso wohlentwickelt und auch vollkommen fruchtbar wie die Stammeltern sind; das gilt z. B. für die Bastarde gewisser Hirscharten, verschiedener Fasanenarten, für die Bastarde von der europäischen und chinesischen Gans und andere mehr, ebenso für gewisse Pflanzenarten, die wie Rose, Brombeere und Habichtskraut für ihre in der freien Natur vorkom-

Digitized by Google

mende leichte Bastardierung bei den Botanikern sehr wohl bekannt sind. Für Tiere wird eine solche Bastardierung, welche naturgemäß an der Grenze des Verbreitungsgebietes zweier Arten ebenso leicht wie bei Pflanzen zu erwarten sein sollte, unter natürlichen Verhältnissen meist dadurch verhindert, daß eben die Individuen verschiedener Arten in der Regel abgeneigt sind, sich miteinander zu begatten, während die unfreiwillig von Insekten befruchteten Pflanzenverwandten eine solche Abneigung weniger bekunden. Deshalb ist auch die Bastardierung im Pflanzenreiche im Gegensatz zur Tierwelt so häufig. Eine Ausnahme scheinen die Lachsfische des Süßwassers zu machen, die sogar ziemlich häufig freiwillig bastardieren. Immerhin erweist sich zu nahe Verwandtschaft stets als ungünstig, indem dadurch wie auch durch Inzucht eine merkliche Schwächung der Nachkommenschaft hervorgerufen wird

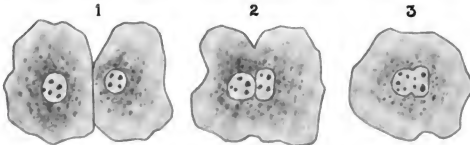


Fig. 117. Kopulation zweier Amöben, deren kopulierende Exemplare gleich sind. Bei 1 haben sie sich aneinander gelegt, bei 2 haben sich die Protoplasmakörper vereinigt, bei 3 sind die Kerne verschmolzen.

was die Natur wenn immer möglich im Interesse der Kräftigerhaltung der Art vermeidet.

Was die Hermaphroditen oder Zwitter anbetrifft, die ja in der niederen Tierwelt, z. B. bei Würmern und Schnecken, sehr verbreitet sind, findet bei ihnen sehr selten eine Selbstbefruchtung statt, indem ein Ei und ein in demselben Individuum gebildetes Samenkörperchen sich miteinander vereinigen. Fast immer begatten sich zwei Zwitter gegenseitig, so daß auch bei ihnen eine Kreuzung der Fortpflanzungsprodukte zustande kommt. Dasselbe gilt auch von den höheren Pflanzen, bei denen die Selbstbefruchtung nur ausnahmsweise als Notbehelf eintritt.

Bei nicht wenigen niederen Tierformen, so besonders bei zahlreichen Insekten, niederen Krebsen, Rädertieren und Plattwürmern, ist nun das Ei imstande, sich auch ohne irgend welche Befruchtung weiter zu entwickeln, was man als Parthenogenesis oder Jungfernzeugung bezeichnet. Bei gewissen Schmetterlingen und See-

sternen kann sie bei einzelnen Eiern ausnahmsweise vorkommen, während in der Regel nur befruchtete Eier derselben zur Entwicklung gelangen. Bei Blattläusen und andern Kleinkerfen, bei den in Salzlachen am flachen Meeresstrande oder in Salzseen, z. B. in Utah, lebenden winzigen Krebschen Artemia und bei der sich hüpfend im Süßwasser, seltener im Meere dahinbewegenden und deshalb als Wasserflöhe bezeichneten, glasartig durchsichtigen, ebenfalls nur wenige Millimeter langen Krebschengattung der Daphnien kommen den ganzen Sommer hindurch nur Weibchen vor, deren unbefruchtete Eier als dünnbeschalte Sommereier sich parthenogenetisch entwickeln, bis endlich im Herbste Männchen auftreten, die erst durch die von ihnen vollzogene Befruchtung die ausdauernden hartschaligen Wintereier erzeugen, die für die Fortpflanzung der Art nach dem Schwinden der Winterkälte sorgen, der die erwachsenen Generationen gewöhnlich durchgehend erliegen. Ihre Sommereier aber, die also unbefruchtet sich entwickeln, schnüren stets nur eine Polzelle ab; es bleibt also bei ihnen die Reduktion der Chromosomenzahl aus. Handelt es sich dagegen, wie bei der Biene und andern Hautflüglern, um Eier, die bald befruchtet, bald nicht befruchtet werden — aus ersteren entwickeln sich dann Männchen, aus letzteren dagegen Weibchen — so schnüren sich wie gewöhnlich zwei Polzellen ab. Für einige Eier, wie z. B. von Seesternen und Rundwürmern, die in der Regel befruchtet werden, aber auch ohne Befruchtung sich bis zu einem gewissen Grade entwickeln können, hat man jedoch beobachtet, daß der für die zweite Polzelle bestimmte Kern sich zwar immer bildet, sich aber, wenn eine Befruchtung unterbleibt, wieder mit dem Eikern vereinigt und so die Rolle eines fehlenden Samenkerns spielt.

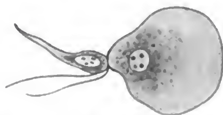


Fig. 118. Kopulation zweier Protozoen, bei denen die Gameten sehr verschieden sind. Bei dieser weniger ursprünglichen Art als die vorige bewegt sich der mit zwei Wimperhaaren versehene männliche Mikrogamet zum weiblichen Makrogameten, der ihm den sog. Empfängnishügel entgegenstreckt.

Von größtem Interesse ist die im I. Abschnitte bereits kurz erwähnte Tatsache, daß Eier, welche sich für gewöhnlich nicht ohne Befruchtung entwickeln, durch äußere Einwirkungen zu einer parthenogenetischen Entwicklung veranlaßt werden können. Wenn man unbefruchtete Eier gewisser Seeigel und Borstenwürmer in ihr Lebenselement, ins Seewasser, bringt, demselben Chlormagnesium, Chlorkalcium

Digitized by Google

oder Rohrzucker zusetzt, sie einige Zeit in dieser Lösung verweilen läßt und sie dann wieder in gewöhnliches Seewasser bringt, so kommt es in der Regel zu einer Entwicklung derselben; doch ist dieselbe durchaus keine normale, was man schon daran erkennen kann, daß sich nur zwerghafte Individuen und viele mißgestaltete entwickeln. Eine Entwicklung tritt auch ein, wenn unbefruchtete Seesterneier mit stark kohlensäurehaltigem Seewasser behandelt werden. Ähnlich entwickeln sich unbefruchtete Eier von Süßwasserfischen und vom Frosch nach Zusatz von 1 Prozent Kochsalz oder 10 Prozent Rohrzucker zu dem Wasser, worin sie liegen. Durch Eintauchen von unbefruchteten Eiern des Seidenspinners in Wasser von 45° gelingt es, etwa zwei Drittel derselben zur Entwicklung zu bringen; unbefruchtete Eier derselben können auch durch einfache mechanische Reibung zur Entwicklung gebracht werden, während doch die Eier des Seidenspinners sich für gewöhnlich ohne Befruchtung nicht entwickeln.

Der bei verschiedenen Plattwürmern, niedern Krebsen und Insekten vorkommende regelmäßige Wechsel von Generationen, die ausschließlich aus Weibchen bestehen und sich parthenogenetisch fortpflanzen, und andern, die aus Männchen und Weibchen bestehen und befruchtete Eier erzeugen, wird als Heterogonie bezeichnet. Gewöhnlich sind diese verschiedenen Generationen auch äußerlich bedeutend von einander unterschieden, so besonders bei gewissen Arten von Eichengallwespen und der Reblaus. In der Lunge der Frösche und Kröten lebt ein hermaphroditischer kleiner Rundwurm, früher Ascaris nigrovenosa, jetzt Rhabdonema nigrovenosum genannt und sehr bekannt, weil seine Eier mit Vorliebe neben den Seeigeleiern zum Studium der Zellreifung, Befruchtung und Furchung verwendet werden. Dessen Junge entwickeln sich zu einer freilebenden, getrennt geschlechtlichen und wesentlich anders als die hermaphroditische aussehenden Generation. Deren Junge wiederum wandern in Amphibien ein und werden zu hermaphroditischen Würmern wie ihre Großeltern solche waren. Auch einige andere Rundwürmer zeigen dasselbe Verhalten, daß bei ihnen eine hermaphroditische, als Schmarotzer lebende Generation mit einer getrennt geschlechtlichen, freien abwechselt.

Als eine bei niedern Tieren und besonders auch bei Pflanzen äußerst verbreitete Art der ungeschlechtlichen Fortpflanzung, die dadurch ausgezeichnet ist, daß das, was sich zu einem neuen Organismus entwickelt, nicht eine einzelne Zelle, sondern ein kleineres odere größeres, stets aber aus zahlreichen Zellen bestehendes Stück des

ursprünglichen Individuums ist, haben wir noch die Teilung und Knospung zu erwähnen, die beide nicht scharf von einander zu trennen sind. Bei der Teilung findet eine Spaltung des Individuums in zwei oder mehrere Stücke statt, die sich zu je einem selbständigen Individuum entwickeln. In ihrer einfachsten Form begegnet man ihr bei gewissen See- und Schlangensternen, bei denen sie in der Weise stattfindet, daß die Körperscheibe mitten durch gesprengt wird und dann an jedem halben Individuum von der Wundfläche neue Teile auswachsen, die die Teilindividien allmählich ergänzen. Bei andern Seesternen kann eine Teilung in der Weise stattfinden, daß ein oder mehrere Arme sich losreißen und jeder zu einem neuen Individuum auswächst. Bei den meisten Tieren findet jedoch die Teilung in weniger gewaltsamer Weise statt. So teilen sich z. B. gewisse Borstenwürmer in der Weise, daß an einer Stelle des Tieres sich Augen und alle übrigen Organe des Kopfes bilden; hierauf findet eine Einschnürung vor dieser Stelle statt, die schließlich das Tier in zwei Wesen teilt, von denen das eine den ursprünglichen, das andere den neu gebildeten Kopf besitzt, der nun zum übrigen Tiere auswächst. Bei den Aktinien oder Seeanemonen und zahlreichen Quallen entstehen durch die bei ihnen sehr verbreitete Teilung meist mehrere bis zahlreiche Teilindividuen gleichzeitig, indem sich übereinander quer um die Mitte des Tieres neue Tentakelkränze bilden, über welchen dann eine jeweilige Trennung zu selbständigen Individuen stattfindet.



Fig. 119. Wiederholte Sprossung eines Borstenwurms; so kann nach und nach eine ganze Kette von Sprößlingen hervorgehen, die sich dann vom mütterlichen Organismus loslösen und selbständig werden.

Wächst nur ein kleiner Teil des ursprünglichen Individuums in Form einer Knospe vom Muttertiere aus, um sich, wenn es eine gewisse Größe und Ausbildung erlangt hat, loszulösen und zu einem selbständigen, dem Muttertiere in allem ähnlichen Wesen auszuwachsen, so bezeichnet man das als Knospung. Es kann dies z. B. in der Weise statt-

Digitized by Google

finden, daß sich an einer Seite des Tieres ein kleiner Teil der Körperwand in Gestalt einer Warze erhebt, die allmählich zu einem neuen Individuum auswächst, das sich schließlich abschnürt. Diese Knospung ist die häufigste Fortpflanzungsweise unseres kleinen grünen Süßwasserpolypen, Hydra viridis, der eben, wie wir bereits erfuhren, durch Einlagerung von in Symbiose mit ihm lebenden Algen, sogenannten Chlorellen, grün erscheint. Diese für gewöhnlich zu einem selbständigen Leben außerhalb des Tierkörpers nicht mehr befähigten und deshalb wie die Chloroplasten der assimilierenden Pflanzenzelle, vom mütterlichen Organismus dem neu sprossenden Individuum wie

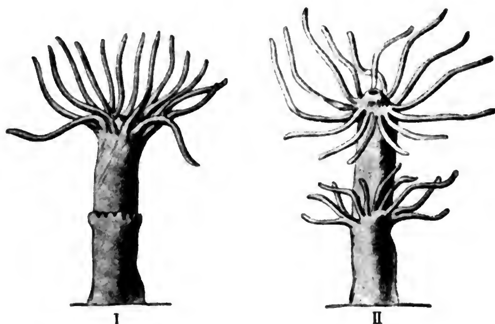


Fig. 120. Aktinien oder Seerosen, die sich zur Teilung vorbereiten. In I hat sich quer um die Mitte des Tieres die erste Anlage eines Tentakelkranzes gebildet, der sich in II weiter entwickelt hat. Oberhalb dieses Kranzes findet dann bei der Loslösung die Trennung statt.

dem Ei als selbstverständliche Mitgift abgegebenen Symbionten wandern bei der Vermehrung des Polyps stets in den neuen Keim über.

Die geschlechtliche Fortpflanzung ist bei diesem Zwitter an eine bestimmte Jahreszeit, von April bis Oktober, gebunden; dabei treten aus je einem Höcker des Ektoderms oder der äußern Zellschicht am untern Teile des Polypen ein einziges Ei und am oberen Teile desselben die Samenkörperchen auf, die die Befruchtung aneinander vollziehen, wonach ein neuer, auf geschlechtlichem Wege entstandener Polyp hervorgeht, der sich an irgend eine Wasserpflanze festsetzt, um mit seinem weithin ausgestreckten Kranze langer Tentakeln oder Fühler, die wie

Digitized by Google

bei allen Korallentieren und Quallenpolypen mit zahlreichen Nesselkapseln bewehrt sind, seine aus winzigen Krebschen und anderen mikroskopischen Tierchen bestehende Nahrung zu erbeuten.

Alle diese eine Knospung und Teilung als vielgebrauchtes Mittel ungeschlechtlicher Fortpflanzung vornehmenden niederen Pflanzentiere und Würmer sind durch eine ganz erstaunliche Regenerationsfähigkeit ausgezeichnet. Mag man sie in noch so viel Bruchstücke zerschneiden, stets ersteht ein jedes derselben zu einem vollkommenen Tiere. Sie haben diese sie vor dem Untergang schützende Eigenschaft mit sehr vielen, auch höheren Pflanzen gemein, von denen beliebige

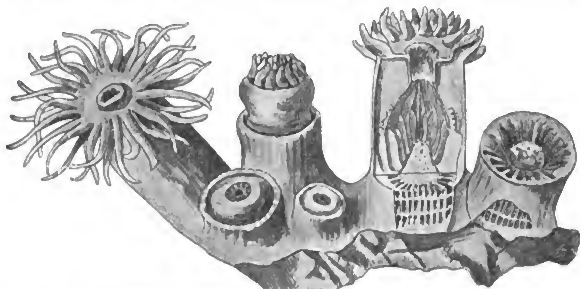


Fig. 121. Teil eines, auf einem Felsen aufsitzendem Stocks einer vielarmigen Koralle. Links ein vollausgestrecktes Individuum, daneben drei mehr oder weniger zusammengezogene Individuen. Am weitesten rechts ein Individuum, an dem alle Weichteile entfernt wurden; neben diesem ein längs durchschnittenes, an dessen unterstem Teil ebenfalls ein Querschnitt angelegt wurde, um den inneren Aufbau des Kalkgerüstes zu zeigen.

Schößlinge, in den feuchten Boden oder in Wasser gebracht oder auf ein anderes Individuum aufgepfropft, ein selbständiges Leben weiterführen und zu Blüte und Frucht gelangen, als ob sie nie von ihrer Mutterpflanze losgelöst worden wären.

Es liegt nun in der Natur dieser nicht nur bei Pflanzen, sondern auch bei niederen Tieren so weit verbreiteten ungeschlechtlichen Vermehrung durch Knospung, daß die Teilindividuen sich nicht immer vom mütterlichen Organismus loslösen, sondern für längere Zeit oder für alle Zukunft einen mehr oder weniger innigen Zusammenhang mit ihm bewahren. Indem die Knospung oder Teilung sich stets wiederholt, entsteht ein größerer oder kleinerer Komplex von Tieren,

Digitized by Google

die sämtlich mit einander in Verbindung bleiben und einen Tierstock bilden. Diese Stockbildung, in der die einzelnen an derselben beteiligten Individuen je nach der mehr oder weniger engen Verbindung, in welcher sie zu den übrigen Individuen des Stockes stehen, in größerem oder geringerem Grade ihre Selbständigkeit eingebüßt haben, ist besonders bei den Korallen, Hydroidpolypen, Plattwürmern, Bryozoen oder Moostieren und Tunikaten oder Manteltieren verbreitet.

Bei einigen Tierformen kann dasselbe Individuum sich sowohl ungeschlechtlich als geschlechtlich fortpflanzen. Bei manchen Korallen und Hydroidpolypen, Borstenwürmern und Manteltieren kann dasselbe Individuum, wie vorhin vom grünen Wasserpolypen mitgeteilt wurde, sowohl neue Individuen durch Knospung als auch Geschlechtsprodukte erzeugen. In andern Fällen aber produzieren diejenigen Individuen, die Knospen erzeugen, nicht zugleich Eier oder Samen, sondern die ungeschlechtliche und geschlechtliche Fortpflanzung sind jeweilen an verschiedene Individuen geknüpft. Meist haben wir dabei einen mehr oder weniger regelmäßigen Wechsel ungeschlechtlicher und geschlechtlicher Bruten oder Generationen, d. h. ungeschlechtliche Individuen erzeugen durch Knospung oder Teilung geschlechtliche Individuen, deren befruchtete Eier wieder zu ungeschlechtlichen Individuen werden, usw. Oder aber es folgen nacheinander zwei oder mehrere Generationen ungeschlechtlicher Individuen, dann kommt eine geschlechtliche Generation, auf sie folgen wieder mehrere ungeschlechtliche Generationen und so fort. Man bezeichnet einen solchen regelmäßigen Wechsel geschlechtlicher und ungeschlechtlicher Bruten als Generationswechsel. Dabei können die Generationen in einigen Fällen einander ähnlich sein; im allgemeinen aber sind die geschlechtlichen von den ungeschlechtlichen Generationen, oft sogar in hohem Grade, verschieden, so bei den Hydroidpolypen und Bandwürmern.

Bei allen höheren Pflanzen und Tieren ist aus den früher erwähnten Gründen der Individuenmischung, die durch die Ausbildung kleiner individueller Verschiedenheiten eine Voraussetzung für die Variationsmöglichkeit bildet, wie ihrerseits die Fähigkeit des Variierens eine Grundbedingung für die Evolution d. h. eine Entwicklung der Lebewesen von niedrigern zu höheren Organisationsformen ist, nur noch eine geschlechtliche Fortpflanzung durch Kreuzbefruchtung zugelassen. Aber auch sie kehren, selbst wenn sie zu den höchst organisierten Metazoen gehören, zu Beginn ihrer ontogenetischen oder Einzelentwicklung stets wieder als Ei auf die Stufe des niedrigen,

Digitized by Google

einzelligen Protozoon zurück. Und nach der Befruchtung, bei welcher durch das Zusammenschmelzen der Kerne zweier artverwandter, aber doch verschieden gearteter Individuen sich eine innige Mischung der Qualitäten zweier, eine besondere Vererbungssubstanz führender Individuen zu einem neuen, den Eltern ähnlichen, aber durch die Mischung der beiden Chromatinmassen des Ei- und Samenkerns, die eben die Träger der Vererbungssubstanz sind, doch mit der Fähigkeit der Va-

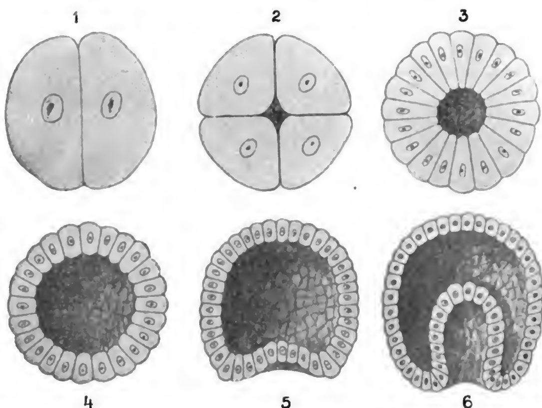


Fig. 122. Verschiedene Entwicklungsstufen eines tierischen Eies in Durchschnitten, 1 die Zellfurchung hat das Ei in zwei Zellen geteilt, 2 vier Zellen mit beginnender Furchungshöhle, 3 Morula, 4 das spätere Blastulastadium mit größerer Furchungshöhle, 5 Anfang der Einstülpung des Urmundes, 6 Gastrula, dessen inneres und äußeres Zellblatt sich noch nicht aneinandergelegt haben.

riation und somit neuer Charaktereigenschaften zeigenden Wesen vollzieht, wird bei allen Lebewesen eine immer weiterschreitende Teilung der Eizelle bewirkt, die wir in ihren ersten Stadien als Eifurchung bezeichnen.

Aus den 2, 4, 8, 16, 32, 64 usw. Zellen, in die die ursprüngliche eine Eizelle zerfällt, bildet sich zunächst eine Kugel, die Prof. Ernst Häckel in Jena wegen ihres maulbeerartigen Aussehens als Morula, d. h. Maulbeere, bezeichnet hat. Indem die sie bildenden Zellen bei ihrer Vermehrung allmählich in der Mitte auseinander weichen und

Digitized by Google

nach innen zu einen Hohlraum freilassen, bildet sich weiterhin daraus eine aus einer einzigen Zellschicht gebildete Hohlkugel, die Häckel Blastula oder Keimblase nannte. Der Hohlraum dieser durch Furchung entstandenen Keimblase, die Furchungshöhle, ist mit einer schwach salzhaltigen Flüssigkeit erfüllt. Die einfache Zellschicht, welche den Hohlraum der Kugel umschließt, heißt Blastoderm oder Keimhaut. Diese wird an einer Stelle eingedrückt und die eine Kugelhälfte stülpt sich immer mehr in die andere ein, bis die Zellschichten sich allseitig berühren und die Furchungshöhle verschwunden ist. Dadurch entsteht ein von einer doppelten Zellschicht gebildeter Becher, den man nach Häckel Gastrula oder Magensack nennt. Die äußere Zellschicht heißt Ektoderm oder äußeres Keimblatt und das innere Entoderm oder inneres Keimblatt. Die Höhlung des Sackes, die den verdauenden Magen darstellt, heißt Urdarm, ihre Öffnung Ur-

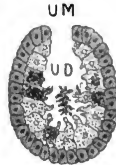


Fig. 123. Schematische Darstellung des aus äußerem und innerem Keimblatt gebildeten Körpers der Hohltiere oder Coelenteraten als der Urstufe aller Mehrzeller. Ersteres besorgt die Empfindung und Fortbewegung, letzteres dagegen die Verdauung. Der Urmund UM dient zugleich als Auswurfsöffnung für das Unverdauliche. In der Urdarmhöhle UD Nahrung N, welche von den Zellen des innern Keimblattes durch das Aussenden amöboider Fortsätze aufgenommen wird.

mund oder Gastrulamund, auch Blastoporus. In einzelnen Fällen sind die Zellen des Ektoderms und Entoderms fast gar nicht von einander verschieden; gewöhnlich aber unterscheiden sie sich dadurch, daß letztere größer und mehr körnig sind als erstere, eine Differenz, die schon in der Blastula vor der Einstülpung zur Gastrula zu Tage tritt.

Diese Gastrulabildung ist der Grundtypus, durch den die erste Entwicklung aller Tiere hindurchgeht. Sie gibt uns gemäß dem von Prof. E. Häckel aufgestellten biogenetischen Grundgesetz, wonach die Einzelentwicklung eines jeden Tieres, wie jeder Pflanze (Ontogenie) eine kurze Wiederholung der Hauptetappen der Stammesentwicklung (Phylogenie) bildet, einen Fingerzeig, in welcher Weise sich in der frühesten Urzeit, aus der wir keinerlei Spuren von Organismen besitzen können, die ältesten als Gasträaden bezeichneten Stufen der Tierentwicklung bildeten. Der Grundtypus der niedrigsten heute noch lebenden Metazoen, der Schwämme, Korallen und Quallen, ist ja immer noch selbst im erwachsenen Zustande der einer solchen Gasträade. Diese Tiere sind also in ihrer Entwicklung nicht über den altertümlichen

Digitized by Google

Zustand hinausgekommen; sie haben ihn wie die spurlos verschwundenen Urtiere der sogenannten azoischen Zeit zeitlebens beibehalten, während alle höheren Tiere gleich ihren einfacher gebauten, vor hunderten von Millionen Jahren lebenden Ahnen stets bei ihrer Entwicklung zwar auch noch ein solches Gastrulastadium durchmachen. Aber es ist bei ihnen nur ein Durchgangsstadium, indem sich bei ihnen

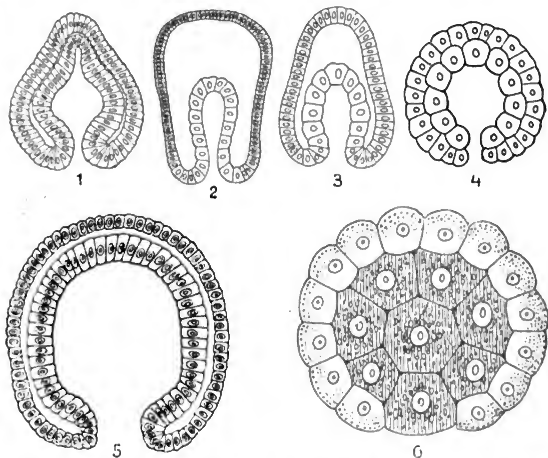


Fig. 124. Die Gastrula oder Darmlarve bei Vertretern der wichtigsten Hauptabteilungen des Tierreichs, jeweilen im Durchschnitt dargestellt: 1 eines Wurms (Pfeilwurm), 2 eines Stachelhäuters (Seestern), 3 eines Gliederfüßlers (Krebs), 4 eines Weichtiers (Schnecke), 5 des niedrigsten Wirbeltiers, des Urfisches Amphioxus, 6 des Kaninchens. Bei letzterer ist zwar die Urdarmhöhle nicht mehr hohl, wie bei den niedrigern Formen, sondern mit Zellen ausgefüllt, aber in der Hauptsache doch noch deutlich erkennbar.

sehr bald, oft sogar gleichzeitig mit der Gastrulaeinstülpung einige Zellen rings um den Urmund an der Grenze von Ekto- und Entoderm aus der Verbindung mit den übrigen lösen, sich zwischen Ekto- und Entoderm einschieben und nach wiederholter Zellteilung zwischen jenen ausbreiten. Dadurch ist zwischen dem äußern und innern Keimblatt als drittes das mittlere Keimblatt oder Mesoderm entstanden.

Digitized by Google

Auf einer späteren Stufe wird das Mesoderm gleich in der Weise gebildet, daß sich vom Urmund aus die Grenzschicht des Entoderms in Form zweier Falten oder Säcke rechts und links einbuchtet. Diese wie Nebentaschen der Gastrula erscheinenden Einstülpungen, die von einer einfachen Zellschicht gebildet werden, wachsen dann bauchwärts zusammen, trennen so die Ektoderm- und Entodermschicht und bilden das Coelom oder die Leibeshöhle.

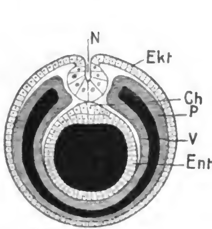


Fig. 125. Schematischer Querschnitt durch einen Wirbeltierembryo. Vom Ektoderm Ekt hat sich das Nervenrohr N eingestülpt. Vom Entoderm Ent beginnt sich die Chorda dorsalis (Rückensaite) abzuschnüren. Indem sich das Mesoderm seitlich in das viscerale Blatt V und das parietale Blatt P schied hat sich die wie die Darmhöhle schwarz angegebene Leibeshöhle gebildet.

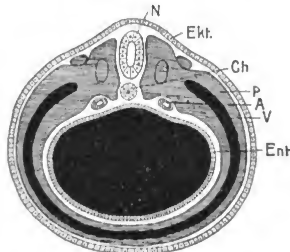


Fig. 126. Derselbe in einem späteren Stadium. Hier sind das Neuralrohr N und die Chorda dorsalis Ch vollkommen abgeschnürt und lassen ihre Herkunft nicht mehr erkennen. Vom Mesoderm hat sich die Aorta A seitlich von der Rückensaite abgetrennt. Die übrigen Buchstaben wie in voriger Figur.

Nach der Anlage des Mesoderms ist also der in Entstehung begriffene Organismus aus drei Keimblättern gebildet, aus denen sich alle spätern Organe sämtlicher Tiere mit Einschluß des Menschen bilden. Aus dem Ektoderm oder äußern Keimblatt wird die oberste Hautschicht, die Epidermis, mit allen ihren Derivaten gebildet als da sind: die Schuppen und Schleimdrüsen der Fische, die Oberhaut mit den zahlreichen Drüsen der Amphibien, die Schuppen der Reptilien, wie die aus ihnen hervorgegangenen Federn der warmblütig gewordenen Vögel und die Haare der Säugetiere, alle verhornten Epidermisprodukte überhaupt in Gestalt von Stacheln, Hörnern, Krallen

Digitized by Google

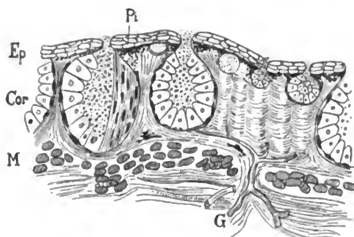


Fig. 127. Schnitt durch die drüsenreiche Haut eines erwachsenen gefleckten Salamanders. Unter der Epidermis oder Oberhaut Ep das Corium oder die Lederhaut Cor, in deren zu oberst mit Pigment Pi durchsetztem Bindegewebe die verschieden großen Hautdrüsen eingebettet liegen. Jede Drüse ist von einer Muskelschicht umsponnen, welche in der rechten Hälfte der ersten Drüse links angegeben wurde. Unter den Drüsen liegt die subcutane Muskelschicht M, durch welche Gefäße G gegen die Drüsen hinaufziehen.

und Nägeln, ebenso alle durch Einstülpungen der Oberhaut entstandenen Hautdrüsen von den Schenkeldrüsen der Kriechtiere und der Bürzeldrüse der Vögel bis hinauf zu den Talg- und Schweißdrüsen der Säugetiere und des Menschen, gleicherweise der Epithelüberzug des vorne in Mund und Nase und hinten in den After eingestülpten Anfangs- und Endstückes des Darmrohres. Bei den vorn im Munde aus Zahnpapillen mesodermalen Ursprungs entstehenden Zähnen wird wenigstens der Schmelzüberzug von den sich abplattenden Zellen des Ektoderms geliefert. Sind doch die Zähne aus einst die Mundhöhle einfassenden und in der Folge stärker ausgebildeten Schuppen hervorgegangen! Weitere Gebilde ektodermalen Ursprungs sind die Sinneszellen aller der verschiedenen Sinnesorgane, wie der Augen und deren Bindehautsack, der Gehörblase und des statischen Apparats der Bogengänge mit dem Gehörgang, des Geruchs und Geschmacks, der verschiedenen Tastempfindungen und endlich des gesamten Nervensystems. Das Gehirn und Rückenmark mit allen davon ausstrahlenden nervösen Elementen, wie wir sie in den peripheren

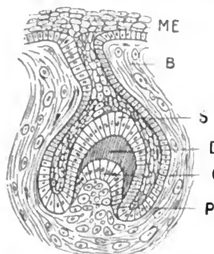


Fig. 128. Entwicklung eines Zahnes als Einstülpung des vom Ektoderm gelieferten Mundepithels ME, welches den Schmelz S erzeugt. Vom Mesoderm werden die Odontoblasten O oder Zahnbildungszellen geliefert, welche das Dentin oder Zahnbein D erzeugen, darunter befindet sich die Pulpa P oder das Zahnsäckchen mit den Blutgefäßen und den Nerven. Rings herum embryonales Bindegewebe B.

Digitized by Google

Nerven und im Nervus sympathicus finden, sind ebenfalls, wie alle eben erwähnten Organe, durch nachträglich abgeschnürte und freigewordene, ja ihre Herkunft später vollkommen verleugnende Einstülpungen des Ektoderms entstanden. Die erste Anlage des Nervensystems besteht in einer Längsrinne, die sich bei Krebsen und Insekten an der bei ihnen später geschützteren Bauchseite, bei allen Wirbeltieren jedoch auf der Rückenseite bildet. Indem sich die Ränder über derselben schließen, wird ein von einer einfachen Zellschicht gebildetes, mit einer schwach salzigen Flüssigkeit gefülltes Rohr, das Neural- oder Nervenrohr, abgeschnürt, dessen vorderster Teil sich durch Oberflächenvergrößerung besonders stark aufbläht und zur Gehirnblase wird, während aus dem dahinter liegenden Teil das Kopf- und Rückenmark wird. Indem diese Organe

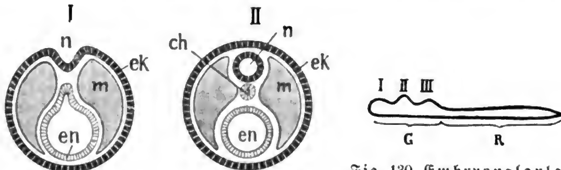


Fig. 129. Querschnitte zur Erläuterung der Bildung des Nervensystems und der Chorda dorsalis oder Rückensaite bei jungen Wirbeltierembryonen. I jüngere, II ältere Stufe. ek Ektoderm, en Entoderm, m Mesoderm, n Nervenrohr, ch Chorda.

Fig. 130. Embryonalanlage des zentralen Nervensystems. Vorn das Gehirn G mit seinen primitiven drei bläschenartigen Anschwellungen: I Vorderhirn, II Mittelhirn und III Hinterhirn. R Rückenmark.

später in alle Teile des Körpers Nervenfasern aussenden, wird so der ganze Körper nachträglich von Zellbestandteilen ektodermaler Herkunft durchwachsen. Während sich bei allen höheren Tieren das Neuralrohr gänzlich von der Hautbedeckung der Epidermis abschnürt, bleibt bei niederen Tieren, die diesen Prozeß noch nicht ganz durchgeführt haben, wie bei allen Stachelhäutern (Seelilien, Seesternen, Schlangensternen, Seeigeln und Seewalzen) und den Borstenwürmern der Zusammenhang des Nervensystems und der Oberhaut zeitlebens entweder in größerer Ausdehnung oder wenigstens an einigen Körperstellen bestehen.

Das Entoderm oder innere Keimblatt dagegen bringt aus sich die Epithelbekleidung des ganzen Darmrohrs vom Schlund bis oberhalb des Afters mit allen dessen Ausstülpungen hervor, als da sind: zeitlich zuerst die Umhüllung des Dottersacks und später, von vorn

Digitized by Google

nach hinten sich allmählich entwickelnd, das absondernde Epithel aller Verdauungsdrüsen und der meisten Drüsen mit sogenannter innerer Sekretion wie der Speicheldrüsen, der Schilddrüse, der Thymusdrüse, der Magendrüsen, aller Darmdrüsen vom Zwölffingerdarm an bis zum Mastdarm, besonders auch von Leber- und Bauchspeicheldrüse, ebenso der Allantois als einer Ausstülpung des Enddarms. Gleicherweise ist entodermalen Ursprungs das gesamte Epithel der ebenfalls durch eine Ausstülpung des Verdauungsrohres entstandenen Schwimmblase, wie auf einem späteren Stadium der Entwicklung, als diese zum Atmungsorgane umgewandelt wurde, der Lunge, und zwar die Epithelien

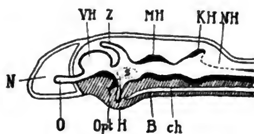


Fig. 131. Sagittalschnitt durch Schädel und Gehirn eines Wirbeltierembryos: N Nasenhöhle mit dem Riechlappen O. In der Schädelhöhle hat sich das primitive Vorderhirn in das sekundäre Vorderhirn oder Großhirn VH und das Zwischenhirn Z differenziert, welch letzteres sich dorsalwärts zur Zirbeldrüse und ventralwärts zum Infundibulum samt Hypophyse H ausgezogen hat. Seitlich davon der Sehhügel S. Hinter dem Mittelhirn MH, auch Vierhügelregion genannt, hat sich das primitive Hinterhirn in das Kleinhirn KH und das Nachhirn NH oder verlängerte Mark differenziert. Opt Sehnerv, B Schädelbasis, Ch Chorda dorsalis oder Rückensaite.

sowohl der Luftröhre als auch deren Verzweigungen, der Bronchien und Bronchiolen, bis zu den winzigen Lungenbläschen hinab. Endlich wird auch die Chorda dorsalis, die Rückensaite, aus gallertiger Substanz, welche von den Embryonen der Tunicaten oder Manteltiere an bis hinauf zum Menschen die erste Anlage der Rückenstütze bildet, um welche sich nachher bei allen Wirbeltieren der eigentliche knöcherne Wirbel herumlegt, in Form einer gegen das Neuralrohr zu eingestülpten und dann, wie auch das Nervenrohr sich vom Ektoderm loslöste, vom Entoderm abgeschnürten Längsrinne hervorgebracht.

Alle übrige Körpersubstanz wird vom Mesoderm oder mittleren Keimblatt geliefert, das sich bei den Embryonen aller Wirbeltiere von zwei seitlich von der spätern Chordarinne aus dem Entoderm ausstülpenden Längsfalten abschnürt und selbständig links und rechts zwischen dem Nervenrohr und Darmrohr weiterwächst. Indem sich mit der Ausbildung der beiden abgeschnürten Mesodermalröhren zu Blättern die beiden dazwischen befindlichen Hohlräume gleicherweise ausdehnen und ventralwärts sich vereinigen, entstehen beiderseitig

Digitized by Google

je zwei mesodermale Blätter, außen herum das parietale Blatt, das die Körperwandung bildet, und innerhalb das viscerale Blatt, das das Darmrohr einhüllt. Die Öffnung dazwischen ist das Coelom oder die Leibeshöhle. Der zentrale, in Zusammenhang gebliebene Teil der mesodermalen Blätter bildet die erste Anlage der Urwirbel oder Somiten, die um den Vorläufer des Achsenskelettes, die Rückensaite, die segmentierte Wirbelsäule mit der Stammesmuskulatur, das Blutgefäßsystem, zumal die Aorta mit dem Herzmuskel als Pumpe, und das gesamte Urogenitalsystem, d. h. die Nieren mit Harnleiter, Harnblase und Harnröhre, sowie die Geschlechtsdrüsen, Hoden und Eierstöcke mit den ausführenden Gängen, entstehen lassen.

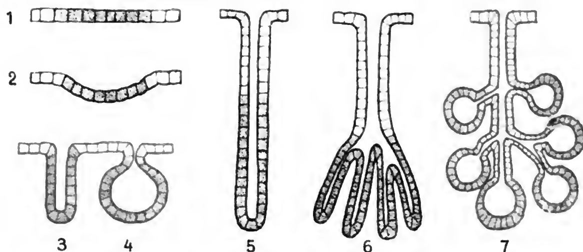


Fig. 132. Die Entstehung der verschiedenen echten Drüsen von Tieren als Einstülpungen der betreffenden Ento- oder Ektodermschicht zum Zwecke der Oberflächenvergrößerung. Die absondernden Zellen sind punktiert. 1 Die allereinfachste Form: die secernierende Zellenpartie ist gar nicht eingestülpt, 2—5 verschiedengestaltete einfache Drüsen, 6 verzweigte schlauchförmige Drüse, 7 traubige Drüse.

Aus dem Mesoderm oder mittleren Keimblatt entsteht also die gesamte quergestreifte und glatte Muskulatur, bilden sich alle Stütz- und Bindegewebssubstanzen des Tierkörpers als da sind Knochen — außer allen Skelettknochen auch die Zähne mit Ausnahme ihres Schmelzüberzuges, von dem wir bereits erfuhren, daß er ektodermalen Ursprunges sei —, sämtliche Knorpel, Bindegewebe, Sehnen, Fettgewebe mitsamt dem Unterhautzellgewebe, die Serosa der Brust- und Bauchhöhle als Lungen- beziehungsweise Brust- und Bauchfell, die gesamten Wandungen des Darms mit Ausnahme eben des vom Entoderm gelieferten Darmepithels, die Bindegewebssubstanzen aller Drüsen, deren absonderndes Epithel stets entweder vom Ento- oder Ektoderm entsteht,

Digitized by Google

das die Nervenfasern zu Nervensträngen zusammenfassende Bindegewebe, das als Neuroglia bezeichnete Stützgewebe der Nerven, die elastischen Stützgewebe um die Lungenbläschen, der Knorpel und die Bindegewebe um die Luftröhre und deren Verzweigungen, sowie alle Röhren des Blut- und Lymphgefäßsystems samt deren Inhalt. Das ist in seiner Gesamtheit weitaus der größte Teil des Körpers überhaupt.

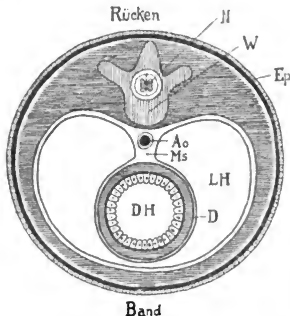


Fig. 133. Schematischer Querschnitt durch den Körper eines Wirbeltiers. Der von der Epidermis oder Oberhaut überzogene Leib wird im Rücken gestützt durch die Wirbelsäule W, welche das Nervenrohr N umschließt. Davor die Aorta oder große Schlagader Ao und an einem Aufhängeband Ms (Mesenterium) frei beweglich in der Leibeshöhle LH der Darmkanal D mit der die Darmhöhle DH bekleidenden entodermalen Epithelschicht.

Ohne näher auf die Details der Organentwicklung einzugehen, die höchst interessant sind und ein Buch für sich füllen würden, sei hier in Bezug auf die Bildung des Darmkanals bemerkt, daß sich im weiteren Verlaufe der Entwicklung bei den Wirbeltieren der Urmund der Gastrula in der Regel wieder schließt, so daß das Entodermrohr eine Zeitlang einen geschlossenen Sack darstellt. Dafür bildet sich später an jedem Ende des Tieres eine Einstülpung des Ektoderms, welche, wie wir oben schon kurz andeuteten, zur Mundhöhle, beziehungsweise zum Enddarm wird.

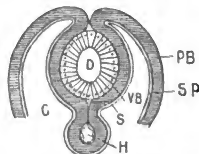


Fig. 134. Schematische Darstellung der embryonalen Herzanlage bei den amnionlosen Tieren d. h. den Fischen und Amphibien. D vom Entoderm ausgekleidete Schlundhöhle D, darum das viscerale Blatt des Mesoderms VB von der Splanchnopleura S bedeckt, welche darunter das Herzrohr H abgeschnürt hat. Außerhalb der Leibeshöhle oder des Coeloms C das parietale Blatt des Mesoderms PB, nach innen zu von der Somatopleura SP bedeckt.

In denjenigen Fällen, in denen der Darmkanal einen als Wegzehrung vom mütterlichen Organismus mitgegebenen Nahrungs-

Digitized by Google

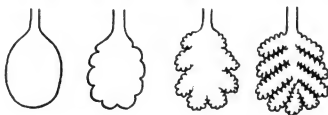
dotter enthält, wird der Embryo stark durch diesen ausgedehnt. Oft bildet sich dann ein Dottersack, eine den Nahrungsdotter enthaltende Ausstülpung des Darmes, welche von einer entsprechenden Ausstülpung der Leibeswand umgeben ist. Der Dottersack kann häufig stark abgeschnürt werden, so daß seine Höhlung nur durch eine ziemlich

Fig. 135. Schematische Darstellung der Lungenentwicklung als zuerst unpaarige, später aber paarig werdende ventrale Ausstülpung des primitiven Darmrohrs, S Lungensäckchen, B Bronchus, T Trachea oder Luftröhre.



enge Öffnung mit dem übrigen Darmkanal in Verbindung steht. Öfters hat der Dottersack, z. B. bei frisch aus dem Ei geschlüpften Fischen — ein Anblick, der jedem gegenwärtig ist, der je Fischzuchtanstalten besuchte — eine im Vergleich zum übrigen Organismus kolossale Größe, so daß das junge Tier mehr als ein Anhang am Dottersack als umgekehrt erscheint. Doch wird mit fortschreitender

Fig. 136. Schema der phylogenetischen Entwicklung der Lunge als einer entodermalen Einstülpung, an welcher eine zunehmende Vergrößerung der atmenden Fläche durch Ausbildung von Alveolen oder Lungenbläschen stattfand.



Entwicklung der Dottersack immer kleiner, bis er durch Aufgebrauchtwerden seines Inhaltes immer mehr zusammenschrumpft und zuletzt durch Resorption bis zum Darmrohr völlig verschwindet.

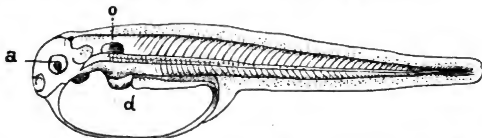


Fig. 137. Junge, unlängst aus dem Ei geschlüpfte Larve eines Knochenfisches mit Dottersack d, a Auge, o Gehörnbläschen. (Mäßig vergrößert.)

Die meisten Tiere sind bekanntlich eierlegend (ovipar), d. h. das befruchtete Ei wird von einer schützenden Hülle umgeben abgelegt; dabei ist es entweder eine einfache, aber bereits befruchtete Zelle, oder

Digitized by Google

schon gefurcht, oder gar noch weiter in der Entwicklung fortgeschritten. Ja, in manchen Fällen verweilt es so lange im mütterlichen Organismus, daß die Eihülle gesprengt wird, ehe der junge Organismus aus der Mutter herauskommt. Man spricht dann von lebendiggebärenden (viviparen) Tieren. Dieses Lebendiggebären kann als ein besonderer, den Jungen gewährter Schutz schon auf verhältnismäßig sehr niedriger Entwicklungsstufe erlangt werden, so bei einigen Tieren, deren Eier durch den Besitz eines kolossalen Dottersackes sehr groß sind, bei einigen Lurchen, wie beim Landsalamander und schwarzen Alpensalamander und bei verschiedenen Reptilien, wie bei den Kreuzottern, die ihren Namen Vipern — von Viviparen zusammengezogen — überhaupt von dieser Eigenschaft führen. Beim samtschwarzen, gelbgefleckten Landsalamander z. B. werden die ganz anders gefärbten, mehr als zwei Jungen mit Kiemen, beiden Beinpaaren und Flossensaum wie die Alten geboren, und zwar in der uralten Heimat dieser Tiere, im Wasser, worin sich die Alten, die man nur am Lande, allerdings an feuchten Orten, antrifft, nie aufhalten. Dabei ist die Tatsache von Interesse, daß die Larven, so lange sie noch im Eileiter leben, wie bei den Haien und Rochen, mit viel längeren Kiemenblättern als später, da sie selbständig zu leben beginnen, versehen sind. Bei dem ihm nahe verwandten ganz schwarzen Alpensalamander gelangen immer nur zwei Junge, und zwar je eines in jedem Eileiter, zur Reife, wobei die übrigen im Eileiter befindlichen, wenn auch befruchteten Eier zusammenfließen und dem einen zur Entwicklung bestimmten Embryo zur Nahrung dienen. Auch dieser letztere besitzt im Mutterleibe außerordentlich große Kiemen, die einen großen Teil des Körpers umgeben, vor der Geburt sich aber zurückbilden, so daß die Metamorphose, an die die Entwicklung dieser Tiere immer noch gebunden ist, sich ganz im Mutterleibe vollzieht. So kann der Alpensalamander im Gegensatz zu seinem Verwandten, dem Landsalamander, seine beiden, der Kiemen bereits verlustigen und als Lungenatmer zur Welt kommenden Jungen auf trockenem Lande gebären. Gleicherweise wie sie



Fig. 138. Aus dem Eileiter seiner Mutter herausgenommener Haiembryo mit langen äußeren Kiemen und einem mit Blutgefäßen durchzogenen Dottersack, aus welchem die Nabelgefäße das Material zu seinem Wachstume holen.

Digitized by Google

führen auch die Jungen des bereits früher erwähnten Laubfrosches der Insel Martinique und einiger anderer Antilleneilande überhaupt kein Wasserleben mehr, indem sich dieses im dichten, der Wasseransammlungen baren Urwalde aufhaltende Tier, wie jenes das kalte, lange Zeit vereiste Hochgebirge bewohnende es zuerst, und zwar schon auf der Lurchstufe, dahin brachten, was sonst erst die Reptilien bei allen ihren Vertretern durchzuführen vermochten, nämlich die ganze Embryonalentwicklung in das Ei zu verlegen und sich so vom Wasser ganz unabhängig zu machen, ein Fortschritt natürlich, der in der Folge von weitgehendster Bedeutung für die Tierentwicklung war.

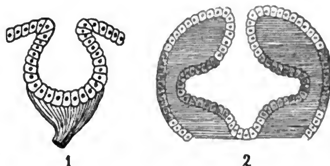


Fig. 139. 1. Anlage des Auges eines Wirbellosen durch Einstülpung des Ektoderms entstanden, dessen Basis zur Retina oder Netzhaut wird, indem Nerven dazu treten. 2 Anlage des Sehorgans beim Wirbeltier. Sie geschieht hier zuerst durch zwei seitliche Ausstülpungen der noch offenen Rückenmarksrinne als ein gewissermaßen an die Peripherie gerückter Abschnitt des Vorderhirns. Gegen diese Ausstülpung, welche die Retina erzeugt, stülpt sich nachträglich vom Ektoderm aus die spätere Linse ein. Zwischen beide schiebt sich zur Bildung der übrigen Bestandteile des Auges das Mesoderm ein.

Aber auch diese, in eine festere, zuerst pergamentartige, wie bei den Reptilien, und später in eine mehr oder weniger dicke kalkige Eischale, wie bei den Vögeln, gehüllten Embryonen, die sie bei der Geburt, bei den Eidechsen und Schlangen mit einem an der Schnauzenspitze vorstehenden echten Zahn, bei den Krokodilen, Schildkröten und Vögeln dagegen mit einem kleinen, festen, verhornten Höcker, dem Eizahn, durchbrechen, um herauszuschlüpfen zu können, atmen im Ei wie später der wohlausgebildete Organismus. Sie verbrauchen bei der Verzehrung des ihnen in großer Menge mitgegebenen Nahrungsdotters Sauerstoff, können sich also in einer sauerstofffreien Umgebung nicht entwickeln. Dabei scheiden sie Kohlensäure aus, die irgendwie muß entweichen können; auch findet bisweilen ein Aufsaugen von dampfförmigem Wasser statt. Zu diesem Zwecke muß die Eischale, trotz ihrer Dickenzunahme durch einen im untersten Abschnitte des Eileiters ausgeschiedenen schützenden Kalküberzug, stets porös beschaffen sein, damit der zur Entwicklung des darin eingeschlossenen Jungen nötige Gasaustausch gleichwohl ungehindert vor sich gehen kann.

Digitized by Google

Außerdem beanspruchen die Eier nicht nur zu ihrer rascheren und gesicherteren Entwicklung, sondern überhaupt um ein Junges aus sich hervorgehen zu lassen, eine gewisse Wärme, welche ihnen die Mutter schon bei den noch kaltblütigen Schlangen, besonders bei den höchsten Vertretern derselben, den Riesenschlangen, in viel höherem Maße aber bei den warmblütigen Vögeln, die Mutter allein, bei den in Einehe lebenden Vögeln meist Vater und Mutter, ja in gewissen Fällen, wie beim südamerikanischen Strauß und den Wassertretern, Phalaropus, der Vater allein spendet. Bei diesem Bebrüten ist der brütende Vogel, um den unter ihm liegenden Eiern eine recht große Wärme zukommen zu lassen, mit sogenannten Brutflecken versehen, d. h. mit Hautstellen, an denen die Federn ausgefallen sind, so daß die Eier direkt mit der durch besonders reiche Blutzufuhr stark erwärmten Haut in Berührung kommen.

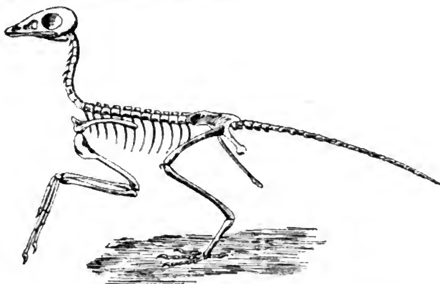


Fig. 140. Rekonstruktion des noch bezahnten, langgeschwänzten und zahlreiche Reptilmerkmale aufweisenden Urvogels Archaeopteryx aus dem oberen Jurakalk von Solenhofen in Bayern.

Bei den dem Reptilstamme entsprossenen Vögeln beginnt die Fürsorge für die Nachkommenschaft schon vor der Eiablage, indem an möglichst geschützten Orten vielfach höchst kunstvoll verfertigte Nester errichtet werden, in die die Eier zur Bebrütung durch die Alten gelegt werden, oder doch, wo sie sich aus Bequemlichkeit der Sorge um sie entheben, wie bei den australischen Talegallas oder Großfußhühnern, die Eier entweder in einen von der Sonne gehörig durchglühten Sandhaufen, in einen Haufen zusammengetragener und durch die nachfolgende, durch Bakterienwirkung bewirkte Gärung erhitzter Pflanzenstoffe oder, in vulkanischen Gegenden, in den von heißen Quellen erwärmten Boden geborgen werden. Solche Jungen, für die keine Eltern sorgen, verlieren das Dunenkleid schon im Ei und schlüpfen

Digitized by Google

mit bereits ausgebildetem Federkleide aus, können auch gleich nach dem Ausschlüpfen aus der Eischale selbständig ihr Futter suchen und sich vor Feinden schützen, indem sie sich rasch unter irgend ein Versteck flüchten oder, da dies wohl in den seltensten Fällen bewerkstelligt werden kann, instinktiv am Boden niederducken, wo sie infolge der ihnen angeborenen Schutzfärbung völlig unsichtbar werden und so sich den Blicken ihres Bedrohers entziehen. Aber auch bei diesen vollständig entwickelten Nestflüchtern übernimmt in der Regel die Mutter die erste Obhut und Anlernung der Jungen. In noch viel größerem Maße ist diese Jungenpflege bei den äußerst hilflos zur Welt kommenden Nesthockern der Fall, die längere Zeit von den Eltern gemeinsam gefüttert, gewärmt und geschützt werden müssen,

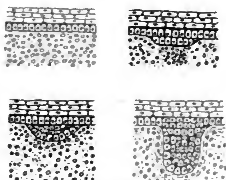


Fig. 141. Erste Bildung eines Haares oder einer Drüse beim Embryo durch Einstülpung eines Ektodermzapfens in das darunter befindliche Mesoderm.

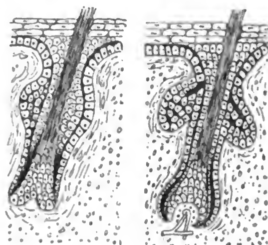


Fig. 142. Bildung eines Haares durch weitergehende Differenzierung eines eingestülpten Epidermiszapfens.

bis sie, einigermaßen erwachsen, nach kurzer Lehrzeit ihr Fortkommen selbst finden können. Dabei wird auch von den Eltern stets die größte Rücksicht auf das Verdauungsvermögen der von ihnen großgezogenen Jungen getragen, indem sie, wenn sie selbst Körnerfresser sind, diesen weiches, leicht verdauliches Futter, wie Insekten, besonders saftige Raupen, oder doch im Kropf vorverdautes, nicht nur erweichtes, sondern auch mit Verdauungsfermenten durchtränktes Körnerfutter verabreichen bis sie so weit sind, hartes Körnerfutter zu vertragen und sich solches selbst zu suchen.

Noch sehr viel weiter geht die Fürsorge für die Jungen sowohl vor als nach der Geburt bei den über die höchste Reptilstufe, die Vögel, hinausgehenden, ebenfalls eine konstante Körperwärme wie sie erlangenden und sich so in allen ihren Lebensfunktionen von der

Digitized by Google

Außentemperatur unabhängig machenden Säugetieren, deren Eier nicht mehr in Schalen mit reichem Nahrungsdotter versehen und deshalb groß gelegt werden, sondern, wie ursprünglich, nur klein sind und sich im geheizten Körper der Mutter in einem besonderen Abschnitte des Eileiters, dem Uterus oder Fruchthalter, wie ein Schmarotzer in der im vorigen Abschnitte auseinandergesetzten Weise festsaugen, um aus dem mütterlichen Blute außer dem Sauerstoff auch noch alle für sie nötigen Nahrungsstoffe und Nährsalze aufzunehmen und die ausgeatmete Kohlensäure mit den andern Ausscheidungsstoffen des Stoffwechsels abzugeben. Diese Entwicklungsweise der Jungen ist natürlich für sie in jeder Beziehung weitaus am vorteilhaftesten. Diejenigen, denen sie zuteil wurde, dürfen sich wirklich als die unter allen Wesen bevorzugten Glückskinder betrachten, die das Höchste erreichten, was in der Entwicklungsmöglichkeit des Tierstammes lag; denn bei ihnen entwickelt sich die Nachkommenschaft aufs beste geschützt, gewärmt und ernährt in einem hochorganisierten, nach jeder Richtung aufs beste für alle seine Bedürfnisse sorgenden Organismus, bis es seinen Entwicklungsprozeß zu Ende geführt hat und, mehr oder weniger reif geboren, auch nachher noch lange an der Mutterbrust und in der mütterlichen Fürsorge Schutz, Wärme und Nahrung findet.

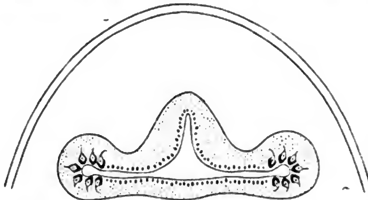


Fig. 143. Phylogenie des Auges des kranioten Wirbeltiers. I. Stadium. Die Gehirnblase treibt zwei seitliche Ausstülpungen, deren Nervenzellen später zu den Sehzellen der Netzhaut umgebildet werden. Nach Boveri.

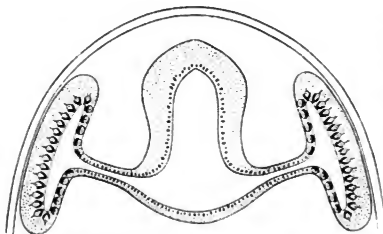


Fig. 144. II. Stadium der Augenbildung. Die Ausstülpung der Gehirnblase legt sich an die Ektodermschicht an und verbreitert sich.

Digitized by Google

Hier im mütterlichen Organismus wird auch bei uns Menschen, wie bei allen Säugetieren, aus dem einzelligen Protozoon, dem Ei, nach der Befruchtung durch fortschreitende, nach bestimmtem Bauplane verlaufende Zellteilung zuerst die Morula, dann die Gastrula und so fort gebildet, bis mit der Bildung einer Chorda und von segmentierten Urwirbeln die älteste wirbellose Vergangenheit überwunden und der Weg zum Wirbeltiere beschritten wird. In diesem frühesten Wirbeltierstadium schwimmt ein jeder Vertreter dieses Tierstammes, schwimmen also auch wir in Bestätigung des bereits erwähnten biogenetischen Grundgesetzes, im Mutterleibe als ein mit Kiemen atmender und mit Salzen, wie seine meerbewohnenden Ahnen, imprägnierter Fisch im salzigen Fruchtwasser, bis sich seine Flossenanlagen in kurze Stummelfüßchen verwandeln, die mit den übrigen körperlichen Umbildungen das Amphibienstadium andeuten. Weiter führt die Entwicklung über das Reptilstadium zum eigentlichen Säugetiere mit allen es charakterisierenden Merkmalen, und zwar verschieden weit, je nach der erklommenen Höhe im System. Bei uns Menschen, die wir an der Spitze des Säugetierstammes stehen, wird im Endstadium unserer Embryonalentwicklung

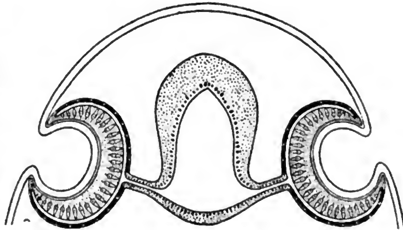


Fig. 145. III. Stadium der Augenbildung. Der zur Netzhaut umgewandelte und eingestülpte Augenfortsatz der Gehirnblase bekommt eine ektodermale Auskleidung, aus welcher die Linse gebildet werden soll.

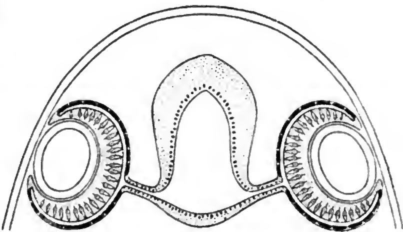


Fig. 146. IV. Stadium. Die in die Augenblase erfolgte Einstülpung des Ektoderms hat sich abgeschnürt, um zur Linse zu werden.

Digitized by Google

der baumbewohnende Vorfahre aus dem Geschlechte der vierhändigen Affen kopiert, so daß wir alle in Kletterstellung mit äffischem Aussehen und Gebiß, mit Andeutungen des äffischen Spitzohres und dem Lanugo genannten Haarfelle jener Tiere im Mutterleibe liegen, um, nach der Geburt noch immer die Kletterstellung unserer einst baumbewohnenden Ahnen kopierend, mit gegeneinandergekehrten Fußsohlen geboren zu werden. Diesen altererbten Hang zur Kletterstellung offenbaren wir aber auch noch lange als Säuglinge, indem wir beim Strampeln in der Wiege mit Armen und Beinen stetsfort Kletterbewegungen ausführen. Ja, selbst erwachsen kann es der Mensch nicht lassen, die Kletterbewegungen instinktiv in allen Notlagen auszuführen, so daß er, beispielsweise ins Wasser fallend, wenn er nicht schwimmen gelernt hat, infolge dieser in dem ihm fremden Elemente unzweckmäßigen Bewegungen ertrinkt, was nicht der Fall wäre, wenn er wie alle vierfüßigen Tiere darin,

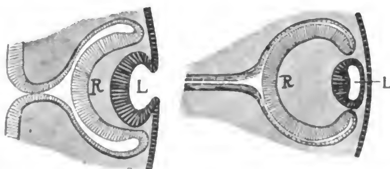


Fig. 147. Letzte Entwicklungsstadien des Wirbeltierauges. Das dunkel schraffierte Ektoderm schnürt die Linse L ab, nachdem also eine Ausstülpung des Gehirns die Netzhaut R und den Sehnerv gebildet hat. Die übrigen Bestandteile des Auges werden vom Mesoderm geliefert.

wie sonst stets, Gehbewegungen machen würde; dadurch führen diese Vierfüßer ein zweckmäßiges Wassertreten aus und schwimmen von selbst, ohne es je gelernt zu haben.

Je höher nun ein Tier auf der Entwicklungsleiter hinangestiegen ist, um so weitgehender sorgt der mütterliche Organismus für das kommende Geschlecht. Unter diesen Umständen, da ihr Fortkommen aufs beste gesichert ist, braucht die Zahl der in die Welt gesetzten Nachkommen auch nur klein zu sein, um die mit Tod abgehenden Alten zu ersetzen. Je niedriger aber ein Tier steht, um so geringer ist die Sorge für die Nachkommenschaft, um so größer sind deshalb auch die Gefahren, von denen jene allseitig umgeben ist und um so zahlreicher muß dementsprechend auch die Zahl der ausgestreuten Keime sein. Während der Mensch, wie alle höheren Säugetiere, nur einige wenige Jungen gebiert und groß zieht, da er die größtmögliche Sicherheit für deren späteres gutes Fortkommen gewähren kann, muß beispiels-

Digitized by Google

weise der einen Generationswechsel durchmachende Bandwurm, bei welchem die Chancen, den Kreislauf des Lebens zu vollenden, für den einzelnen ausgestreuten Keim höchst gering sind, mehrere Millionen Eier produzieren, damit nur einige wenige derselben die Art fortpflanzen. Ausgenommen die paar, die Glück haben, sind alle übrigen Keime von vorneherein dem Untergange geweiht, da die Wahrscheinlichkeit des Gelingens ihres höchst abenteuerlichen Entwicklungskreises eine geradezu verschwindend kleine, wenn nicht geradezu gleich Null ist.

Damit etwa ein Nachkomme des Grubenkopfes oder breiten Bandwurms, Bothriocephalus latus, seinen Entwicklungskreis vollenden könne, müssen folgende Bedingungen erfüllt sein. Vor allem muß das Ei in süßes Wasser gelangen, sonst ist ihm überhaupt die Entwicklungsmöglichkeit von vorneherein abgeschnitten. Ist dies geschehen, so schlüpft hier im Süßwasser aus dem ovalen, dünnschaligen, mit einem

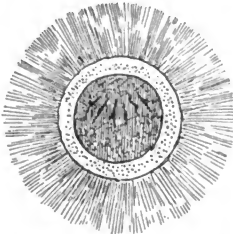


Fig. 148. Bewimperte Larve des breiten Bandwurms, Bothriocephalus latus; in derselben schimmern sechs Haken durch. (Sehr stark vergrößert.)

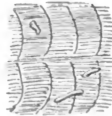


Fig. 149. Drei Finnen des breiten Bandwurms im Muskelfleisch des Hechtes. (Um die Hälfte verkleinert.)

scharf umgrenzten Deckelchen aufspringenden Ei nach Wochen, oder im Winter erst nach Monaten ein mit 6 Haken bewaffneter, allseitig mit einem lebhaft flimmernden Wimperkleide bedeckter Embryo aus, der sich etwa 8 Tage schwimmend im Wasser herumtreibt, um dann das Wimperkleid zu verlieren und zu Boden zu sinken. Da ruht er, bis er von einem kleinen wirbellosen Wassertiere, wahrscheinlich einem Krebschen, gefressen wird. In dessen Verdauungsrohr feiert er Auferstehung, um sich durch das Darmepithel hindurchzubohren und irgendwo im Körper — den bestimmten Ort kennen wir so wenig, als den Zwischenwirt selbst — festzusetzen. Jetzt muß jenes wirbellose Tier von einem Hecht, einer Quappe, einem Barsch, einer Forelle, einer Äsche, einem Saibling oder einer Seeforelle gefressen werden,

Digitized by Google

damit die darin eingeschlossene Larve des breiten Bandwurms bei der Verdauung frei werde und sich durch die Magen- beziehungsweise Darmwandung hindurchbohren und in das Muskelfleisch des neuen Wirtes gelangen könne. Dort entwickelt sie sich zu einer 1 cm langen blasenlosen Finne, die zu warten hat, bis der betreffende Fisch von einem Menschen oder einem Hunde gefressen wird, in dessen Magen das Fischfleisch aufgelöst und die freigewordene Finne, in den Darm gelangend, sich mittelst zwei zu beiden Seiten des Kopfes gelegenen spaltförmigen Sauggruben festsaugt, um im Speisebrei des dritten und letzten Wirtes in kürzester Zeit zum breiten Bandwurm auszuwachsen. Dieser größte der menschlichen Bandwürmer, der 5 bis 8 m Länge erreicht, wächst durchschnittlich 7 cm im Tag, um schon drei Wochen nach dem Verspeistwordensein des ihn bergenden Fisches, das seine Auferstehung bedeutete, mit dem Ausstoßen reifer Eier zu beginnen und im Jahre bis 200 Millionen derselben zu liefern. Von diesen gehen fast alle zugrunde, ohne daß es ihnen gelangt, diesen komplizierten Entwicklungszyklus zu Ende zu bringen und sich fortzupflanzen. Es muß schon ein besonderer Glücksfall sein, wenn sich unter 100 Millionen Eiern nur eines bis zum reifen Bandwurm hindurchzubringen vermag.

Aber auch da, wo das Junge nicht passiv, wie ein solcher Grubenkopfembryo, sich durch Gefressenwerden auf immer höhere Daseinsstufen bringen lassen muß, sondern aktiv sich das Leben erkämpft und sich, ohne daß seine Eltern das geringste zu seinem Fortkommen tun, selbst groß frißt und allen es bedrohenden Feinden zu entkommen sucht, ist die Chance zum geschlechtsreifen Tiere heranwachsen zu können eine sehr geringe. Deshalb war die Einführung der Brutpflege eine höchst segensreiche Einrichtung für alle Tiere, die eine solche Neuerung bei sich zustande brachten. Damit konnte die Zahl der Eier wesentlich herabgesetzt, dafür aber das einzelne Ei um so reichlicher mit der nun verfügbar gewordenen Menge Nahrungsdotter ausgestattet und ihm so das Durchkommen in den ersten Entwicklungsstadien erleichtert werden. Im Wasser, besonders im Urquell und Hort alles Lebens, im Meere, ist meist die Nahrung für solche Embryonen überall gleich leicht, oder besser gesagt, gleich schwer zu erhaschen; außerdem sind in diesem unerfaßbar großen Gewimmel von allen möglichen, meist flink dahinschießenden räuberischen Lebewesen die Gefahren, vor der Zeit gefressen zu werden, äußerst große. Bei Luftbewohnern, wie bei den Insekten, deren Jugendstadien an besondere Lokalitäten und Pflanzen gebunden

Digitized by Google

sind, sorgt die Mutter mit der größten Sorgfalt und oft mit bedeutender Arbeit dafür, daß die aus dem Ei kriechenden Jungen reichliche Mengen der ihnen passenden Nahrung finden, entweder durch Ablegen der Eier an solchen Nährpflanzen, die ihnen die erste Speise darbieten, oder durch Einsammeln von besondern Nahrungsvorräten, neben welche oder in welche hinein die Eier abgelegt werden. Seltener kommt eine Brutpflege in der Form vor, daß die Mutter dem ausgeschlüpften Jungen täglich frisches Futter bringt.

Bei einer geringen Zahl von Insekten werden die Eier erst dann abgelegt, wenn die Entwicklung der Embryonen so weit fortgeschritten ist, daß sie bald die Eihülle verlassen werden; andere gebären „lebendige

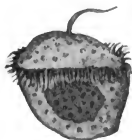


Fig. 150. Junge, noch schalenlose Larve der das Meer bewohnenden Herzmuschel Cardium, mit einem Wimpersaum und einer größeren Rückenwimper sich dahinbewegend. (Stark vergrößert.)

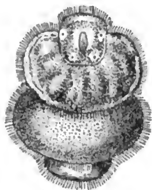


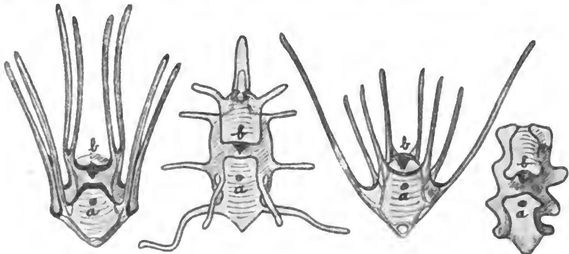


Fig. 151. Zwei frei umherschwimmende bewimperte Larven mit punktförmigen Augen am vorderen Körperende von Brachiopoden oder Armfüßern, also festliegenden, erwachsen muschelartig beschalten Tieren wie Terebratula und Lingula.

Junge", indem bei ihnen, wie bei höheren Tieren, die ganze embryonale Entwicklung in der Mutter, bei einigen, z. B. den Blattläusen, in den Eiröhren, bei andern im Eiergang, abgeschlossen wird. Ein eigentümliches Verhältnis findet man bei den pupiparen Fliegen, bei denen nicht nur die eigentliche Eientwicklung im mütterlichen Eiergang abläuft, sondern auch die daraus hervorgegangenen Larven noch eine gewisse Zeit hindurch in diesem verweilen und durch die Absonderung gewisser Anhangsdrüsen ernährt werden. Es bestehen also hier bei einem Zweige der Wirbellosen schon so weitgehende Einrichtungen der Jungenfürsorge, wie wir sie sonst nur auf einer recht hohen Entwicklungsstufe der Wirbeltiere, nämlich bei den Säugetieren, finden.

Digitized by Google

Wie die allermeisten Insekten besitzen auch alle andern Wirbellosen überhaupt, wenn sie das Ei verlassen, noch nicht die definitive Gestalt, sondern müssen eine Metamorphose oder Verwandlung durchlaufen. Schon die Menge des Nahrungsdotters im Ei ist eine viel zu geringe, als daß ein dem erwachsenen Tiere ähnlich gebautes Geschöpf aus ihm gebildet werden könnte. Also muß das aus dem Ei ausschlüpfende Junge sich durch selbständige Beschaffung der Nahrung groß und damit dem erwachsenen Zustande ähnlich fressen. Zudem sind die Lebensbedingungen, unter denen die Jungen leben, vielfach von denen der Erwachsenen völlig verschieden. Bei einer Unzahl von Meerestieren, die im ausgebildeten Zustande an den Boden festgelegt



1. Seeigel 2. Seestern 3. Schlangenstern 4. Seewalze

Fig. 152. An der Meeresoberfläche dahintreibende Larven verschiedener Echinodermen oder Stachelhäuter, die im erwachsenen Zustande bodenständig sind; 1 und 3 von der Seite, 2 und 4 von unten. Unterhalb von b sieht man den Mund, a After; die Wimperschnur, mit der sie sich bewegen, ist als dicke dunkle Linie angegeben.

sind, leben die Larven als freischwimmende Tiere an der Wasseroberfläche, was natürlich für die ganze Gestaltung derselben von durchgreifendem Einflusse ist. Bisweilen sind die Larven, wie bei den Amphibien, Wassertiere, während die Erwachsenen Landtiere sind, was ebenfalls mit großen Unterschieden Hand in Hand geht. Es müssen also die Larven vielfach den Erwachsenen abgehende, ihren besonderen Lebensverhältnissen angepaßte Werkzeuge und Organe, die sogenannten provisorischen Larvenorgane, besitzen als da beispielsweise sind: die Wimpersegel der Schneckenlarven, die Kiemen der Amphibienlarven, die Tracheenkiemen und die als „Maske" bezeichnete Umbildung der Unterlippe zu einem langschaftigen, weit vor-

Digitized by Google

streckbaren Greifwerkzeuge bei den Larven der Wasserjungfern, die Bauchfüße der Schmetterlingsraupen, die Stinkdrüsen von Wanzenlarven und so fort. Diese Larvenorgane können in gewissen Fällen einen so bedeutenden Umfang besitzen, daß nur ein geringer Teil des ursprünglichen Larvenkörpers sich zu dem vollkommenen Tiere entwickelt, während der größere Teil desselben rückgebildet wird. Dies ist beispielsweise der Fall bei den großen, von einer Wimperschnur umsäumten freischwimmenden Larven der Echinodermen oder Stachelhäuter, aus denen bei der Verwandlung ein kleiner, nunmehr vermittelst Saugfüßen am Boden dahinkriechender, höchstens etwa noch durch stelzende Bewegungen der sehr soliden, eigentlichen nur zu körperlichem Schutze ausgebildeten Stacheln bei der Fortbewegung mithelfender Seeigel oder Seestern hervorgeht.

Meist ist die Dauer des Larvenlebens nur eine kurze Vorbereitungsstufe gegenüber dem Gesamtleben des betreffenden Tieres, indem es in der Regel die definitive Gestalt erreicht, lange bevor es seine definitive Größe und die Geschlechtsreife erlangt hat. Hiervon machen nur die Insekten eine sehr beachtenswerte Ausnahme, indem sie die Gestalt des „vollkommenen Insekts" gewöhnlich erst dann annehmen, wenn der Organismus als Larve durch ausgiebige Ernährung die endgültige Größe erhalten hat. Während z. B. die Krebse, die ebenfalls eine Metamorphose durchmachen, den Larvenzustand als ganz kleine Tiere verlassen, verwandelt sich das Insekt erst, wenn es den gesamten Baustoff für den Körperaufbau gesammelt hat, in das als Imago bezeichnete ausgebildete, geschlechtsreife Tier, indem es dann erst funktionsfähige Flügel in Form wesentlich toter Chitinanhängsel bekommt, sich nicht mehr häutet und höchstens nur so viel wächst als die Ausdehnungsfähigkeit des Chitinpanzers es zuläßt. Deshalb kann z. B. bei Weibchen — am stärksten bei den Termiten — eine Schwellung des Hinterleibs infolge der Entwicklung der Eierstöcke nur dadurch eintreten, daß sich die weicheren Gelenkhäute zwischen den nicht mehr der Ausdehnung fähigen Segmenten stark ausdehnen und so Platz für den maximal sich ausdehnenden Bauchinhalt geschaffen wird.

Die Veränderungen, denen das Insekt am Schlusse der Larvenperiode und im Puppenstadium unterliegt, gehen natürlich nicht etwa plötzlich vor sich, wie die Bezeichnung Metamorphose d. h. Verwandlung vermuten lassen könnte, sondern sie vollziehen sich ganz allmählich, indem die Larve nach jeder Häutung sich der Gestalt des vollendeten Tieres, der Imago, immer mehr nähert, in diesem Sinne seine Leibesgestalt,

Digitized by Google

die Form der Beine, der Antennen und der zusammengesetzten Augen ändert und vor allem auch die späteren Flügel als Einstülpungen der Leibeswand anlegt, bis sie dann endlich, wenn die Larvenhaut zum letztenmale abgestreift wird, ausgestülpt werden und als Auswüchse des Körpers erscheinen. Indem diese Verwandlungen vor sich gehen, auch die vorher innerhalb der Chitinhüllen gewachsenen Beine sich in einem zusammengefalteten Zustande befinden, ist das Tier eine kürzere oder längere Zeit bis zu Wochen und Monaten zu träger Unbeweglichkeit verurteilt. Aber während dieser äußeren Ruhe des Puppenstadiums sind die inneren Vorgänge im sich verwandelnden Insekte um so lebhafter, indem die weitere Umformung der bereits angelegten Teile mit einer umfassenden Zerstörung und Auflösung vieler Teile des

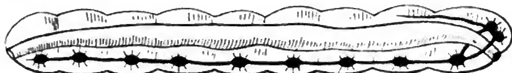


Fig. 153. Schema der Organisation eines Ringelwurms, das genau von der Insektenlarve durchgemacht wird. Den in Segmente geteilten Leib durchzieht das Verdauungsrohr, unter dem vom Ektoderm — statt oberhalb desselben wie bei den Wirbeltieren — das Nervenrohr abgeschnürt wird, das in so viel Ganglien zerfällt, als Segmente vorhanden sind. Vorn geht das Bauchmark durch den den Schlund umgreifenden Schlundring in die Gehirnganglien, den Sitz des Verstandes, über.

Larvenkörpers durch sogenannte Histolyse, d. h. Gewebeauflösung einhergeht; denn bei einigen Insekten ist es sogar nur ein kleiner Teil der Larve, der sich zur Imago gestaltet, während ein größerer Teil aufgelöst wird und dem übrigen bestehen bleibenden lediglich als Nahrung dient. Bei diesem Auflösungsprozesse spielen die amöboiden, d. h. sich wie die einzelligen Amöben selbständig bewegenden und handelnden Blutkörperchen eine überaus wichtige Rolle, indem sie die zum Absterben verurteilten Gewebe förmlich auffressen, sie stückweise in sich aufnehmen und verdauen, um die Produkte später in konzentrierter Form wieder an die lebenskräftigen, wachsenden Teile des Tieres abzugeben. Besonders weit geht diese Auflösung des Larvenkörpers bei einem großen Teile der Dipteren oder Zweiflügler, den Fliegen, Bremsen und Mücken, die im Gegensatz zu den übrigen geflügelten Insekten nur das vordere Flügelpaar gut entwickelt haben, während sie das hintere zu kleinen Halteren oder Schwingeln reduzierten, die als winzige paukenschlegelartige Fortsätze mit einer An-

Digitized by Google

schwellung endigen, deren Reichtum an Nerven sie als wichtige Sinnesorgane von uns vorläufig unbekannter Funktion zu erkennen geben. Da deren Larven als träge dahinkriechende Maden nach Aussehen und Lebensweise so außerordentlich von den ausgebildeten Tieren verschieden sind, muß bei ihnen der größte Teil der Larvenorgane umgearbeitet werden.

Der hilflose Zustand, in welchem die Puppe daliegt, hat zur Ausbildung verschiedener Schutzeinrichtungen bei ihr geführt. Sehr oft, so beispielsweise bei den Hymenoptern oder Hautflüglern, zu denen die Blatt-, Gall-, Grab- und Faltenwespen oder eigentlichen Wespen, wie auch die Ameisen und Bienen gehören, bei manchen Schmetterlingen und anderen, bildet die Larve vor der Verpuppung eine geschlossene Hülle, einen Cocon, um sich, in welchem nachher die Puppe liegt. Das Material dazu entstammt in der Regel den Spinndrüsen, die auf der Unterlippe der Larve ausmünden und deren stickstoffreiche, rasch erstarrende Ausscheidung in Form eines feinen Fadens entweder allein oder mit kleinen Fremdkörpern zusammen zur Bildung der Cocons verwendet wird. Eine schützende Hülle erlangen die Puppen mancher Dipteren in der Weise, daß sich die Chitinhaut der Larve vor der Verpuppung bedeutend verdickt und, wenn sie sich nachher von den darunterliegenden Weichteilen losgelöst hat, nicht wie sonst abgestreift wird, sondern als feste Kapsel um die dünnhäutige Puppe zurückbleibt. Diese sogenannte Tönnchenpuppe wird erst abgestoßen, wenn die Imago daraus hervorbricht. Bei den Schmetterlingen ist die Puppe auch in folgender Weise wirksam geschützt: Fühler, Mundteile, Beine und Flügel liegen dem Körper ganz dicht, wie angeklebt an, und sind überall an ihrer Außenseite fest und dick chitinisiert, was auch am übrigen Körper überall dort ausgebildet ist, wo er von den genannten Teilen nicht bedeckt ist, so daß es den Anschein hat, als wären Körper und Gliedmaßen von einer gemeinsamen Firnisschicht überzogen.

Die unvollkommene und die vollkommene Metamorphose der Insekten stehen einander heute recht scharf gesondert gegenüber, wenn es auch ganz klar ist, daß sich letztere aus ersterer entwickelt haben muß. Eine scheinbare Vermittlung zwischen beiden bildet die Verwandlung der Eintagsfliegen, die dadurch ausgezeichnet ist, daß die Larve nicht direkt in die eigentliche Imago übergeht, sondern zunächst eine unvollkommene, aber unverkennbare Imagogestalt annimmt, das sogenannte Subimago-Stadium, in welchem beispielsweise die Flügel brauchbar, wenn auch noch schwach sind. Erst nach einer letzten Häutung erreicht

Digitized by Google

dann das Tier die definitive Gestalt. Während die ein geschlossenes Tracheensystem besitzenden und mit blattförmigen oder verästelten Tracheenkiemen atmenden Larven Monate, ja bisweilen sogar einige Jahre hindurch als gefräßige Räuber mit wohlentwickelten Mundteilen im Wasser leben und einige derselben sich sogar weitläufige Gänge in die Ufer graben, bringen die Imagines der Eintagsfliegen, die keine Nahrung mehr zu sich nehmen, und einzig nur auf die Fortpflanzung ihrer Art bedacht sind, nur wenige Tage oder Nachtstunden als geflügelte Wesen in der Luft zu, um sofort nach der Begattung und Eiablage zu sterben.

Aber auch abgesehen von den Insekten, deren Verwandlungen in den breiten Volksmassen am besten bekannt sind, ist auch bei den

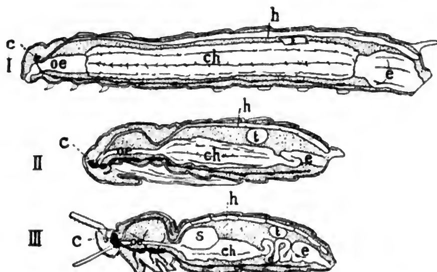


Fig. 154. Durchschnitte durch I Larve d. h. Raupe, II Puppe, III Imago eines Schmetterlings (Sphinx) mit ihren verschiedenen Körperorganen und deren Umwandlung im Laufe der Metamorphose. oe Speiseröhre, ch Chylusdarm, s Saugmagen, e Enddarm, h Herz, c Gehirn mit Schlundring und den sich daran anschließenden segmentalen Ganglien, t Hoden beziehungsweise Eierstock.

übrigen Wirbellosen die Metamorphose eine ganz allmähliche. Doch finden oft die betreffenden Umbildungen im Laufe eines oder mehrerer kurzer Zeitabschnitte statt. Nachdem die Larve längere Zeit dieselbe Gestalt besessen hat, durchläuft sie im Laufe eines viel kürzeren Zeitabschnitts recht bedeutende Veränderungen, so daß sie gewissermaßen in einem oder mehreren Sprüngen die Form des ausgebildeten Tieres annimmt. Dies ist besonders bei den Arthropoden oder Gliederfüßlern, den Krebsen und Insekten, auffallend, indem bei diesen alle äußeren Veränderungen an die Häutungen gebunden sind. Einige Zeit vor der Häutung löst sich der lebendige Teil der Haut von der Cuticula ab, bildet sich mehr oder weniger um, so daß die Larve, wenn

Digitized by Google

sie die Cuticula abstreift, plötzlich wie mit einem Sprunge in einer neuen, geänderten Gestalt erscheint, im weichen Zustande rasch wächst, bis dieses Wachstum mit zunehmender Erhärtung des Chitinpanzers ein Ende findet. Hier ist eben das Wachstum gänzlich in die ersten weichhäutigen Stadien nach der Häutung gebunden.

Noch sehr viele Einzelheiten ließen sich über die Entwicklungs- oder Wachstumsvorgänge der Tiere anführen; denn unerschöpflich wie die Formen fülle dieser Tierwelt ist auch die Mannigfaltigkeit der Entwicklungsvorgänge und die Verschiedenheit der Anpassungen des Lebensprozesses an die äußeren Bedingungen bei derselben. Doch wenden wir uns nach dieser kurzen Übersicht zu den nicht minder interessanten analogen Entwicklungsphasen der Pflanzenwelt, die eine nicht weniger große Mannigfaltigkeit der Formen aufweist. Aber auch hier gehen allen den verschiedensten Organausbildungen einheitliche und einfache Vorläuferstadien voraus, die die Entwicklung der reichgegliederten Pflanzenwelt, ebenso wie die Tierwelt, auf eine gemeinsame Wurzel zurückführen lassen.

Digitized by Google

VII.

Die Ausbildung der Pflanzen.

Wie alle metameren, d. h. aus einer Vielzahl von besondere Organe bildenden Zellen bestehenden Tiere bei ihrer Entwicklung aus der einzelligen Stufe, dem Ei, in altgewohnter, vollkommen eingefleischter Wiederholung der Stammesentwicklung stets zuerst den Magensack der Gastrula mit Bildung von anfänglich zwei und später drei Keimblättern ausbilden, um dann nach und nach durch komplizierte Wachstumsprozesse den definitiven Tierkörper zu erzeugen, so wiederholen alle Pflanzen bis zu den höchsten Vertretern dieses Stammes immer wieder bei ihrer Einzelentwicklung kurz die wichtigsten Stadien der Stammesentwicklung. Ihrer Aufgabe der Assimilation entsprechend ist die älteste Grundform des Pflanzenleibes ein kleines Gebilde, bestehend aus einer flach ausgebreiteten Zellschicht, die wir als Thallus oder Lager bezeichnen. Ein solches primitives, noch keinerlei Gliederung in Stamm und Blätter aufweisendes, flaches, grünes Lager, in der alle Zellen gleichmäßig der Assimilationstätigkeit obliegen können, ist — entsprechend der Gastrula der Tierentwicklung — das Grundschema aller Pflanzenentwicklung, das uns besonders deutlich im Vorkeime der Kryptogamen oder Verborgenblütigen entgegentritt. Aus einem, diesem unscheinbaren Gebilde analogen winzigen, papierdünnen, grünen Häutchen von in einfacher Schicht flach nebeneinander ausgebreiteten, assimilierenden Zellen müssen die ältesten pflanzlichen Organismen der Urzeit bestanden haben, aus denen sich nach und nach im Laufe der Hunderte von Jahrmillionen, welche die erdgeschichtliche Entwicklung umfaßt, alle höheren Pflanzen entwickelten. Seine überaus unscheinbare Gestalt haben die niedrigsten heute noch lebenden Pflanzen, die Thallophyten oder Lagerpflanzen, am genauesten bewahren können, da es bei ihnen noch nicht zur Sonderung ver-

Digitized by Google

schiedener Organe, wie Wurzeln, Stamm und Blatt im Sinne der höheren Pflanzen gekommen ist, sondern die aneinandergefügten und durch gegenseitigen Druck mehr oder weniger viereckig gewordenen Zellen als Zellenreihen oder Zellenscheiben den später oft verhältnismäßig mächtig werdenden Gewebekörper bilden, der nie irgendwelche Fibrovasalstränge zur Leitung der aufgenommenen gemeinsamen Nahrungs- und Bildungssäfte besitzt.

Die ungeschlechtliche Fortpflanzung fällt bei den niedersten Formen dieser Pflanzengruppe als oft einzige Fortpflanzungsweise mit der Zellteilung zusammen. Bei einer großen Anzahl von Algen, seltener bei Pilzen, wird sie ferner durch Schwärmzellen, sogenannte Schwärmsporen, vermittelt, wie wir sie im IV. Abschnitte von der grünen Fadenalge Oedogonium („Die Pflanze im Moment der Tierwerdung") kennen gelernt haben. Indem nun diese einzeln oder zu mehreren aus dem Plasma einer vegetativen Zelle durch Verjüngung oder Teilung entstehen und durch eine in der Zellwand sich bildende Öffnung ausschwärmen, sorgen sie für die Verbreitung der Art. Es sind dies stets nackte, bewegliche Zellen von meist birnenförmiger Gestalt, bei den Pilzen ganz farblos, bei den Algen mit einziger Ausnahme des farblosen Vorderendes, der sogenannten Mundstelle, durch ihre Chloroplasten oder Chromatophoren grün gefärbt. Selten wird dieses Grün durch einen die Wärmestrahlen in zur Assimilation befähigende Lichtstrahlen umwandelnden roten Farbstoff, das Hämatochrom, verdeckt, wie bei der bereits früher erwähnten, den roten Schnee erzeugenden Sphaerella nivalis und der bei ihrer ungeheuren Vermehrung stehende Gewässer in kurzer Zeit blutrot färbenden Sphaerella pluvialis. Häufig sind diese Schwärmzellen noch mit einem im vorderen farblosen Teile liegenden roten Pigmentfleck, einem allereinfachsten Sinnesorgan zur Unterscheidung von Hell und Dunkel, Warm und Kalt und zur Prüfung aller sonstigen Reize, die einen solchen nackten, selbständig sich seinen Weg durchs Wasser suchenden, zwar keine Beute machenden, dafür aber durch Assimilation sich seine Nahrung selbst bereitenden Einzeller treffen können, damit er über die Wahl des einzuschlagenden Weges schlüssig werden und ihn alsbald einschlagen könne.

Solche nackte, noch völlig unbeschützte, hautlose Zellen, mit denen alle Pflanzen, wie alle Tiere, ihr Dasein als Eizellen beginnen, bezeichnet man als Primordialzellen. In dieser Gestalt haben die ältesten Pflanzen die salzige Flut der Urmeere assimilierend durchschwommen, indem sie sich vermittelst wimpernder Ruderfäden langsam

Digitized by Google

dahintrieben. Noch heute bewegen sich die nackten Schwärmzellen der niedersten Pflanzen durch solche wimpernde Plasmafäden, welche am leicht ausgezogenen, den roten Pigmentfleck als Universalsinnesorgan tragenden Vorderende, entweder einzeln, wie bei Euglena, oder zu zweien, wie bei den meisten Algen, zu vieren, wie bei Ulothrix und Ulva, oder zu vielen in einem Kranze, wie bei Oedogonium, sitzen, während sie bei anderen, z. B. Vaucheria, die ganze Oberfläche bedecken. Bei der ziemlich rasch fördernden Bewegung rotiert die Schwärmzelle beständig um ihre Achse. Dabei hängt die Bewegung der oft in ganzen Massen in größeren Wasseransammlungen auftretenden Schwärmzellen zum Teil mit Wasserströmungen zusammen, die infolge von Temperaturdifferenzen entstehen; größtenteils ist sie aber von Licht und Wärme abhängig, denen die einzelnen Schwärmzellen zustreben oder von denen sie sich wegwenden. Nach verhältnismäßig kurzer Zeit des beweglichen „wie ein Tier“ Umherschwimmens kommen die nackten Schwärmzellen zur Ruhe, ziehen ihre wimpernden Plasmafäden ein, runden sich ab und umgeben sich mit einer Membran, um, nun erst zu richtigen Pflanzenzellen, wie wir sie in der Jetztzeit kennen, geworden, durch Zellteilung zu reifen Pflanzen auszukeimen.

Organe der ungeschlechtlichen Fortpflanzung dieser niedersten Thallophyten oder Lagerpflanzen sind ferner Brutzellen, welche bei den Algen seltener, noch am häufigsten bei den Florideen oder Rotalgen, bei den Pilzen jedoch fast allgemein vorkommen und bei ihnen als Conidien bezeichnet werden. Letztere entstehen fast durchweg durch Sprossung und Abschnürung an der Spitze von manchmal eigentümlich gestalteten Ästen des Thallus, beziehungsweise des Myceliums, wie der chlorophyllfreie und daher parasitisch oder saprophytisch, d. h. von faulenden Stoffen lebende vegetative Teil des landbewohnenden Zweiges der Thallophyten oder Lagerpflanzen genannt wird, und wachsen nach kurzer Zeit zu einem neuen Thallus bezw. Mycel aus, oder erzeugen in selteneren Fällen aus ihrem Plasmainhalte Schwärmzellen.

Mannigfaltiger gestaltet sich bei den Thallophyten der Vorgang der geschlechtlichen Fortpflanzung und auf ihn stützt sich im Wesentlichen die von dem großen Würzburger Botaniker Julius von Sachs vorgenommene Einteilung derselben in vier große Klassen. Während den niedersten Lagerpflanzen, der I. Klasse der Protophyten oder Urpflanzen die geschlechtliche Vermehrung ganz abgeht, sehen wir letztere bei den als II. Klasse bezeichneten Zygosporeen, d. h. Jochsporenerzeugenden oder Gamosporeen, d. h. der sich durch einen

Sexualakt Fortpflanzenden zunächst noch in sehr einfacher Weise auftreten. Bei ihnen vereinigen sich zwei — selten mehr, wie bei manchen Algen, oder zahlreiche wie bei den Myxomyceten oder Schleimpilzen — gleichartige Geschlechtszellen durch einen, als Konjugation oder Kopulation bezeichneten Paarungsakt mit innigster Vermischung des Gesamtplasmas, besonders aber der chromatin-lininhaltigen Kernsubstanz zu einer neuen Zelle, der Zygote, aus welcher nach längerer Ruhe die neue Generation direkt unter Bildung von Schwärmzellen oder Brutzellen sich entwickelt. Sind die kopulierenden Zellen Schwärmsporen, wie bei Pandorina und Ulothrix, so heißen sie Planogameten, kopulieren aber die unbeweglichen Plasmainhalte zweier Zellen von verschiedenen sich aneinanderlegenden Fadenalgen, wie bei Spirogyra, so nennt man sie Aplaganometen.

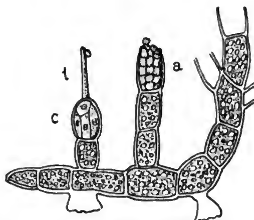


Fig. 155. Fruchtkörper einer marinen Rotalge, Lejolisia mediterranea. Das weibliche, Carpogon c genannte Organ ist zu einem haarartigen Gebilde, dem Trichogynt, ausgezogen, an welches sich durch die Bewegungen des Wassers die vom männlichen Organe, dem Antheridium a ausgestoßenen Spermatien anlegen, um die Eizelle zu befruchten (nach Bonnet).

In der III. Klasse, bei den Oosporeen, sind als weiterer Fortschritt die beiden zur Kopulation bestimmten Geschlechtszellen auch äußerlich von einander verschieden. In der ruhenden, und deshalb großen weiblichen Zelle, dem Oogonium, d. h. Eierzeuger, entstehen aus dem protoplasmatischen Inhalte eine oder, auf einer höheren Stufe, mehrere nackte Eizellen, welche vermittelst freibeweglicher, aus je einer als Antheridium bezeichneten männlichen Zelle entstandener Spermatozoiden oder Samenkörperchen, z. B. bei Oedogonium und Vaucheria, oder dadurch befruchtet werden, daß ein Fortsatz des Antheridiums in das Oogonium hineinwächst und sich hier entweder der Eizelle nur anlegt, wie bei der Pilzgattung der auf den verschiedensten höheren Pflanzen schmarotzenden Peronosporeen, oder auch seinen befruchtenden Inhalt zwischen die Eizellen entleert, wie bei den saprophytisch im Wasser auf toten Tieren und Pflanzen lebenden Saprolegniaceen. Jedes befruchtete Ei umhüllt sich alsbald mit einer Zellhaut und erzeugt, gewöhnlich erst nach längerer Ruheperiode, entweder Schwärmzellen, die nach allen Seiten hinauswandern, sich

Digitized by Google

irgendwo festsetzen und zu neuen Pflanzen auswachsen, oder es wächst direkt zu einer neuen Pflanze aus.

Bei der IV. Klasse, den Carposporeen oder Sporenfrüchtlern endlich, welche die die Meeresküsten bewohnenden grünen, braunen, roten Tange als die Algen höchster Ordnung umfaßt, entsteht durch die Wechselwirkung der beiden meist ungleich gestalteten Geschlechtsorgane aus dem weiblichen derselben ein mehr oder weniger vollkommen ausgebildeter Fruchtkörper, das Sporocarpium, d. h. die Sporenfrucht, in oder auf welchem die Sporen in verschiedener Weise erzeugt werden. So sitzen bei den Tangen, z. B. bei Fucus vesiculosus, dem Blasentage, so genannt, weil bei ihm zum leichtern Schwimmenkönnen der am Meeresboden mit einer meist gelappten wurzelartig verzweigten Haftscheibe festgehaltene Thallus stellenweise durch große Luft führende Höhlungen blasig aufgetrieben ist, an den äußeren Verzweigungen desselben die aus umgewandelten Haarzellen, sogenannten Trichomen, entstandenen Oogonien und Antheridien in grubigen Höhlungen des Thallus zwischen zahlreichen, einfach gebliebenen Haaren. Diese an der Oberfläche des Thallus durch Überwachsung vom benachbarten Gewebe entstandenen Höhlungen, werden Conceptacula genannt; und zwar sind die in ihnen geborgenen Geschlechtszellen bei den verschiedenen Tangen entweder beide in derselben Höhlung oder in verschiedenen Konceptakeln auf demselben Individuum oder gar auf verschiedenen Pflanzen vorhanden. Die Oogonien sind eiförmige bis kugelige, auf einem einzelligen Stiele sitzende Zellen, deren dunkelbraunes Plasma sich entweder zu einer einzigen Eizelle formt, oder durch weitere Teilung in zwei bis acht Eier zerfällt. Die Antheridien dagegen entstehen als länglich-eiförmige, einzellige, dünnwandige Äste verzweigter Haare. Jedes derselben erzeugt zahlreiche kleine Spermatozoiden mit zwei nach vorn und hinten gerichteten Wimpern und einem roten Fleck am Vorderende. Zur Zeit der Ebbe werden die

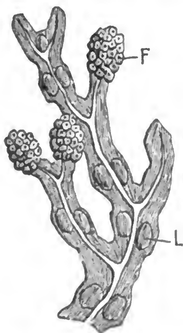


Fig. 156. Sproß eines Blasentanges, Fucus vesiculosus, mit Lufthöhlen L im Gewebe, damit er schwimmend erhalten werde, und Fruktifikationsorganen F, sog. Conceptacula (etwas verkleinert).

Digitized by Google

reifen Antheridien und von den Oogonien eine innere, die Eier umhüllende Membranschicht aus den Konceptakeln entleert und entlassen

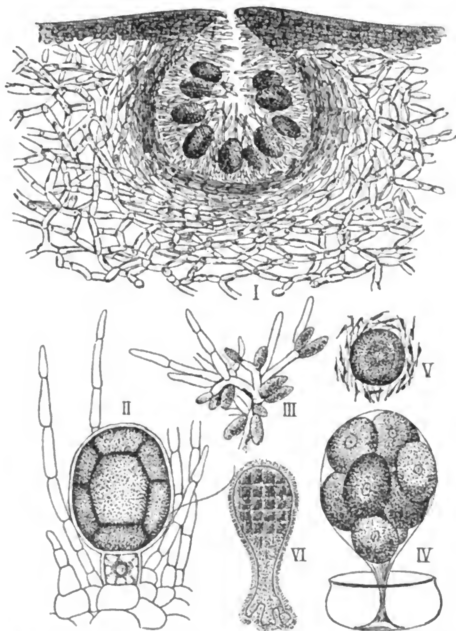


Fig. 157. Blasentang, Fucus vesiculosus. I Längsschnitt durch das weibliche Conceptaculum mit den Oogonien zwischen den einfachen gegliederten Haaren (Paraphysen). II Einzelnes Oogonium im Beginn der Bildung, mit Paraphysen. III Antheridien, mit Paraphysen. IV Sich öffnendes Oogonium mit reifen Eiern. V Freischwimmendes Ei mit anhängenden Spermatozoiden. VI Junge Pflanze, sich am Boden anheftend (nach Thuret).

ihren Inhalt bei Beginn der Flut. Nachdem die Eier in der Weise aus den Oogonien ausgestoßen wurden, daß eine dieselben anfänglich noch umhüllende innerste Hautschicht des Oogoniums zerrissen wird,

Digitized by Google

hängen sich die Spermatozoiden zahlreich an das kugelige Ei und versetzen dasselbe in rollende Bewegung, während welcher die Befruchtung stattfindet. Das von einem Spermatozoid befruchtete Ei umhüllt sich alsbald mit einer Membran und wächst direkt zu einer jungen Pflanze aus, deren ganzer Entwicklungslauf allerdings noch nicht vollkommen bekannt ist.

Im Gegensatz zu diesen niedersten Pflanzen, den als Thallophyten zusammengefaßten Algen und Pilzen, steht die Gruppe der Muscineen oder Moose als Bryophyten oder Moospflanzen, indem sie, außer allerdings den niedersten Formen der zu den Lebermoosen gehörenden Anthoceroten, bei denen der Körper noch ein Thallom ohne

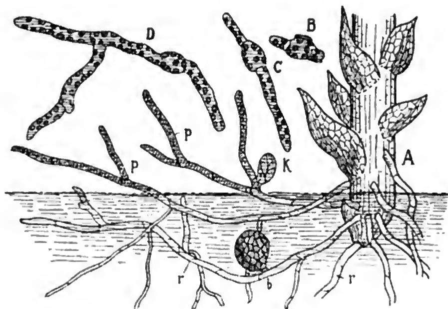


Fig. 158. Unterer Teil einer Moospflanze: A Stengel mit Rhizoiden r im Boden wurzelnd, auf deren einer bei b eine Brutknolle entstanden ist. Einzelne von ihnen sind über die Bodenoberfläche hinausgewachsen und haben sich infolgedessen in grüne Vorkeimfäden (Protonema) p umgewandelt, von denen einer bereits eine junge Moosknospe k trägt. B Keimende Moosspore mit noch daran hängendem Exosporium, C etwas älter, und D noch weiter entwickelter junger Vorkeim desselben Mooses.

Blätter bildet, sich sonst allgemein in Stämmchen und höchst einfach gebaute Blätter gliedern; doch fehlen ihnen noch die echten Fibrovasalstränge, wie auch die Wurzeln. Nur bei den Laubmoosen findet die Wasserleitung bereits in einem dünnwandigen zentralen Strange statt. Die Funktion der Wurzeln wird durch meist zahlreiche Haare, deren Auftreten wir schon bei den Tangen notierten, vertreten; man nennt sie hier Rhizoiden oder Wurzelhaare. Ihre Vermehrung kann eine

Digitized by Google

ungeschlechtliche oder geschlechtliche sein. In beiden Fällen entsteht als Reminiscenz an frühere, einfachere Daseinsstufen des Stammes ein fadenförmiges Gebilde aus grünen Zellen als Vorkeim, Protonema, das einfach durch Knospung neue Pflänzchen erzeugt. An allen Teilen der Moose können solche Vorkeimfäden, wie auch Brutknospen, hervorsprossen, so aus dem thallusartigen Stamme der altmodischen Lebermoosgattung Marchantia, wie aus Wurzelhaaren, Blättern und Stamm der Laubmoose.

Die geschlechtliche Fortpflanzung der Moose wird ebenfalls stets wie bei den höheren Thallophyten durch Archegonien und Antheridien vermittelt, die bei den monöcischen Formen auf derselben, bei den diöcischen dagegen auf zwei verschiedenen Pflanzen, bei den niederen Formen am Stamme, bei den höhern jedoch, den Laubmoosen, entweder an der Spitze des mit ihnen sein Längenwachstum abschließenden Hauptsprosses (akrokarpe Moose) oder am Ende von Seitenachsen (pleurokarpe Moose) sich bilden. Letztere, die Antheridien, sind bei den niedrigeren Formen, den Lebermoosen, vertiefte, bei den höhern dagegen, den Laubmoosen, durch eine Stielbildung erhöhte, sackartige Behälter, welche mit ihrer nur aus einer einzigen Zellenlage gebildeten Wand, das Mutterzellgewebe der Spermatozoiden in Gestalt zahlreicher, kleiner fast kubischer Zellen umschließen, von denen jede aus ihrem Plasma einen schraubig gewundenen, am Hinterende etwas verdickten Samenkörper mit zwei langen, am Vorderende sitzenden Wimperfäden erzeugt. Bei der Reife der Antheridien wird die ganze Masse der sich abrundenden Spermatozoidenmutterzellen durch einen im Scheitel des Antheridiums entstandenen Riß ausgestoßen. Die Samenkörper werden dann durch Lösung der Mutterzellmembranen frei.

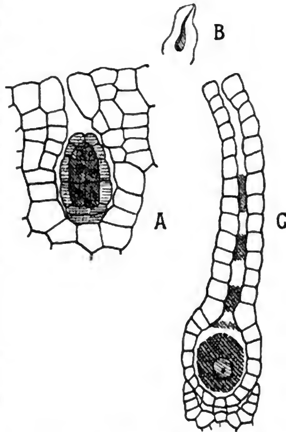


Fig. 159. Noch nicht ganz reifes Antheridium A mit Spermatozoid B und reifes Archegonium C des Lebermooses Marchantia. Im Grunde des letzteren befindet sich die Eizelle. (Stark vergrößert.)

Digitized by Google

Die Archegonien sind sehr kurzgestielte flaschenförmige Organe mit dickem Bauche, in welchem die große Eizelle ruht, und langem Halse, dessen in der Achse befindliche Zellreihe, die Kanalzellen, sich zum Zwecke der Befruchtung, um einen Durchgang zu schaffen, auflösen. Wenn sich dann der Hals an seiner Spitze durch Auseinanderweichen der obersten Zellen öffnet, dringen, wenn bei Regenwetter die Moospflänzchen allseitig von Wasser umgeben sind, die von der gleichen oder von einer andern Pflanze ausgesandten Spermatozoiden zu der im Bauche des Archegoniums liegenden Eizelle hinab, um sie zu befruchten. Nach der Befruchtung verwandelt sich die Eizelle durch fortschreitende Zellteilungen in einen vielzelligen Körper, das Sporogonium, d. h. den Sporenerzeuger, welcher sich gewöhnlich in einen oberen, die Sporen entwickelnden Teil, die Kapsel, und einen unteren stielförmigen, die Seta, differenziert. Dieser letztere bleibt im untern Teil des sich streckenden Archegoniums stecken, ohne daß die sich gegenseitig berührenden Gewebe miteinander verschmelzen. Das feste Aneinanderliegen von Sporogonium und Archegonium genügt schon für die Ernährung des ersteren von seiten der Moospflanze. Im reifenden Sporogonium werden bei den niedrigern Formen, den Lebermoosen, im ganzen Innenraum, bei den höhern dagegen, den Laubmoosen, in einem besondern sackförmigen Behälter, dem Sporensacke, die Sporen durch Vierteilung ihrer sich schon vorher isolierenden

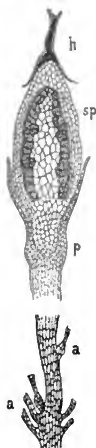


Fig. 160. Längsschnitt durch das emporgehobene Sporogonium sp der Moospflanze Andraea rupestris zur Zeit der Teilung der Sporenurmutterzellen. Die Sporenkapsel steckt mit ihrem kurzen als seta bezeichnetem Stiele in einer scheidenartigen Aushöhlung, dem ehemaligen Archegoniumbauche, in dem Pseudopodium p, deshalb als Scheinfuß bezeichnet, weil nicht die Sproßachse, sondern die Verlängerung des Archegoniumstiels sie die Höhe gebracht hat. h Haube als der abgesprengte obere Teil des Archegoniums mit dem Archegoniumhalse, a unbefruchtete Archegonien. (Mäßig vergrößert.) Nach Kühn.

Digitized by Google

Mutterzellen erzeugt. Neben ihnen entstehen bei den meisten Lebermoosen noch lange, spindelförmige, mit spiraligen Wandverdickungen versehene Zellen, die dazu dienen, durch Streckung bei trockenem Wetter die Sporen hinauszuschleudern, weshalb sie Elateren oder Schleuderzellen genannt werden. Auch der Mundbesatz, das Peristom, der kompliziert gebauten Sporenkapseln der Laubmoose öffnet sich nur bei trockenem Wetter, um dann die Sporen vom Winde hinwegtragen zu lassen.

Während der Hals des Archegoniums verschrumpft, wächst der Archegoniumbauch nach der Befruchtung noch eine Zeit lang weiter. Bei den Laubmoosen wird er jedoch durch das sich streckende junge Sporogonium fast ausnahmslos an seiner Basis rings abgesprengt und, den Scheitel desselben als Mütze oder Haube, Calyptra, bedeckend, emporgetragen. Bei den Lebermoosen dagegen dauert sein Wachstum länger. Er umhüllt das Sporogonium noch zur Zeit der Sporenbildung und wird erst durchbrochen, wenn die Kapsel unter Streckung des Stieles zur Sporenausstreuung hervortritt. Dann bleibt das an seinem Scheitel zerrissene Archegonium als eine Art Scheide an der Basis des Stieles sitzen.



Fig. 161. Reifes, zur Ausstreuung der Sporen geöffnetes, über das Perichaetium pe emporgehobenes Sporogonium des Laubmooses Andraea petrophila. (25 fach vergrößert.)

Aus der keimenden Spore entwickelt sich bei den niederen Formen der Moose ein rudimentärer, kurzlebiger, bei den höhern dagegen ein kräftig ausgebildeter Vorkeim, Protonema, als ein flach sich ausbreitendes verzweigtes, fadenförmiges, selten flächenförmiges Gebilde, an welchem durch Knospung die junge Moospflanze entsteht. Diese Protonemarasen sind sehr empfindlich gegen Belichtung. Die sonst stets grünen Vorkeimfäden können bei Bedeckung mit Erde zu farblosen Rhizoiden oder Wurzelhaaren mit schiefgestellten Zellwänden werden, und umgekehrt können letztere bei Belichtung ergrünen, indem sich in den durch Lichtabschluß farblos gewordenen Chromatophoren durch den Reiz des Lichtes wiederum Blattgrün bildet und dadurch die Möglichkeit der Assimilation aufs neue gegeben ist.

Es tritt also bei den Moosen ein scharf ausgesprochener Gene-

rationswechsel auf, wie wir ihn bereits bei den niederen Tieren kennen lernten: Aus der keimenden Spore entsteht ein sich verzweigender Vorkeim, der durch Knospung die Moospflanze mit den Geschlechtsorganen entstehen läßt. Durch Befruchtung in der Nässe entsteht im Archegonium ein Geschlechtsprodukt, eine Tochterpflanze, die zur Bildung von ungeschlechtlichen Samen, den Sporen auf der Mutterpflanze sitzen bleibt, durch eine drüsenartige Schicht an der Basis Enzyme zur Auflösung der Stärke in der Mutterpflanze ausscheidet, teilweise aber auch selbst assimiliert, sich immer höher und höher streckt, um nach erlangter Reifung in der Trockenheit aufzuspringen und mit Hilfe des Windes die Sporen auszustreuen, die ihrerseits wieder den Kreislauf der Moospflanze beginnen. So wechselt eine geschlechtliche Generation beständig mit einer ungeschlechtlichen, und zwar bleibt letztere gleichsam als ein Parasit auf der ersteren sitzen.



Fig. 162. Vegetation von Kraut- und Baumfarnen bei den heißen Quellen von Tjipanes auf dem Wege zum Vulkan Pangerongo auf Java. Solche mit Feuchtigkeit gesättigte Bergschluchten sind der bevorzugte Standort dieser wasserliebenden und bei der Befruchtung auf das atmosphärische Naß angewiesenen Pflanzen.

Einen ähnlichen Generationswechsel besitzt auch die nächsthöhere Pflanzengruppe der

Digitized by Google

Gefäßkryptogamen, welche in früheren Erdperioden eine ungleich wichtigere Rolle spielte als heute, da sie teilweise nur in ganz unansehnlichen und seltenen Formen vertreten ist. Zu ihr gehören die Farne in der weitesten Fassung dieses Begriffes; deshalb bezeichnet man diese Gruppe als Pteridophyten oder Farngewächse. Besser als Gefäßkryptogamen sollte man sie als Leitbündelkryptogamen bezeichnen; denn ihr Gewebe differenziert sich stets in Epidermis oder Oberhaut, Grundgewebe und Fibrovasalstränge, die auf dem Querschnitt des Stammes zerstreut, durch Grundgewebe getrennt und stets geschlossen sind, so daß dem Stamme ein Dickenwachstum völlig abgeht. In den Fibrovasalsträngen gibt es aber noch keine Tracheen zur Wasserleitung und Siebröhren zum Eiweißtransporte, die beide erst bei den Phanerogamen auftreten, sondern nur einfachere, als Tracheïden und Cribroïden bezeichnete Vorstufen derselben. Auch entwickeln sich bei ihnen zum ersten Male richtige Wurzeln mit Haube und Haaren und äußerst mannigfaltig geformte, oft recht große, wohlausgebildete Blätter.

Während nun bei den Moosen die geschlechtliche Generation ein ziemlich hochentwickeltes Pflänzchen bildet, auf welchem die ungeschlechtliche, als Mooskapsel die Sporen erzeugende Generation gleichsam parasitisch als ein ziemlich unscheinbares, wenn auch manchmal hochentwickeltes Gebilde lebt, finden wir bei den Farnen gerade das umgekehrte Verhalten. Bei ihnen ist die geschlechtliche Generation äußerst reduziert und kommt uns Menschen nie zu Gesicht, während die ungeschlechtliche zur eigentlichen Pflanze geworden ist, die wir als Farn kennen. Die höchst unscheinbare Geschlechtsgeneration ist auf ein winziges, an den Thallus der niedrigsten Pflanzen oder auch an ein kleines Lebermoos erinnerndes flächenartiges Gebilde, das man als Vorkeim oder Prothallium bezeichnet, herabgesunken, während die aus dem Embryo hervorgegangene ungeschlechtliche Generation die groß ausgewachsene, hochentwickelte Pflanze darstellt, die nicht nur stauden-, sondern vielfach sogar baumartig werden kann. Allerdings ist bei ihr der unverzweigte sog. monopodiale Stamm nicht von einer Rinde, wie bei den höheren Pflanzen, umgeben, sondern mit schuppenartigen Haaren, sogenannten Spreuschuppen, bedeckt; in seinem Jugendzustande treibt er an seinem Vegetationskegel mit der Spitze nach vorn eingerollte, oft mehrere Meter lange, vier- bis fünffach gefiederte Blätter, die meist auf ihrer Unterseite in besonderen Behältern auf ungeschlechtlichem Wege Sporen erzeugen und ausstreuen.

Digitized by Google

Im einfachsten Falle ist das Laubblatt eines Farns gleichzeitig Fruchtblatt, Sporophyll genannt, wie z. B. beim Adlerfarn, Pteridium aquilinum. Das nächst Höhere ist, daß nur ein Teil des Blattes zur Fruktifikation verwendet wird, wie z. B. beim weitverbreiteten Königsfarn, Osmunda regalis, bei dem der untere sterile Teil der Blätter sich scharf gegen den oberen fruchtbaren absetzt. Bei den höchsten Formen aber bleibt das gewöhnliche Laubblatt steril und werden besondere Sporophylle gebildet, wie beispielsweise beim Straußfarn, Onoclea struthiopteris, bei welchem zu Beginn des Jahres zahlreiche unfruchtbare Blätter entstehen, welche einen schützenden Trichter

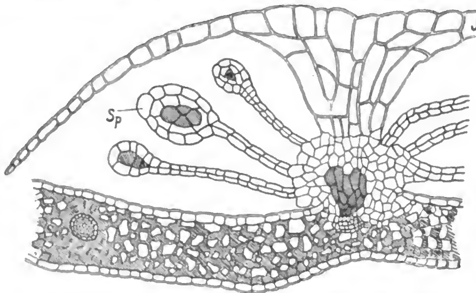


Fig. 163. Querschnitt durch ein Sporenhäufchen des Adlerfarns mit noch unentwickelten Sporangien Sp, deren schraffierter Inhalt sich zu den Sporen entwickeln wird. Darüber als Schutzdach das Indusium oder der Schleier J. (Vergr. 100.)

um die paar zuletzt entstehenden, viel kürzeren und auch einen viel gedrängteren Wuchs aufweisenden fruchtbaren Blätter mit Sporangien bilden, die ausschließlich die Sporen in bestimmten Sporenbehältern erzeugen, welche man wegen ihrer verborgenen Lage gewöhnlich nicht zu sehen bekommt.

Diese Sporenbehälter oder Sporangien stehen in der Regel in besonderen Gruppen als Sporangienhäufchen oder Sori zusammen, die aus einer einzigen Oberhautzelle oder aus mehreren derselben durch fortgesetzte Teilung entstanden sein können. Die Sporangienhäufchen werden meist von einem die Sporen vor der für sie schädlichen Feuchtigkeit schützenden Häutchen, dem Schleier oder Indusium, bedeckt. Im entwickelten Zustande bestehen die Sporangien

Digitized by Google

aus einer einschichtigen, den Sporeninhalt umgebenden Wandung. An der Zellschicht der Wandung bemerken wir nun stets der Naht entlang verdickte Zellpartien, welche bei verwandten Arten stets in gleichartiger Weise auftreten und deshalb für die Einteilung der Farne von größter Bedeutung sind. Es ist dies der Ring oder Annulus, der die Aufgabe hat, bei Trockenheit zusammenschrumpfend das Aufreißen der Sporangien und damit zugleich das Ausstreuen der Sporen zu bewirken.

Diese Sporen sind nun von zwei dicken Membranen, dem äußern Exinium und dem innern Endinium, umgeben, die bei der Keimung durch Wasseraufnahme am Erdboden gesprengt werden, und den sich nach und nach zum Vorkeime entwickelnden Keim austreten lassen. Während chlorophyllreiche Sporen, wie z. B. diejenigen des Königsfarns, schon nach wenigen Tagen keimen oder, wenn dies nicht der Fall ist, in der Trockenheit absterben müssen, können solche, die wenig Chlorophyllkörper enthalten, noch nach 10 und 20 Jahren keimen. Bei der Keimung entsteht als Reminiszenz an frühere Zustände stets ein winziger, etwa herzförmig gestalteter, aus einer sehr dünnen Schicht vieleckig zusammengedrängter und durch den reichen Chlorophyllgehalt dunkelgrün gefärbter Zellen ohne Gefäßbündel bestehender thallusartiger Vorkeim, Prothallium genannt, der auf dem feuchten Grunde zu einem selbständigen Leben von einigen Wochen befähigt ist und auf seiner in der dickeren Mitte mit Wurzelhaaren am Boden verankerten Unterseite, die ganz ähnlich wie bei den Moosen gebauten Geschlechtsorgane als Antheridien und Archegonien trägt. Diese entstehen aus oberflächlich gelegenen Zellen des Vorkeims, und zwar die Antheridien mehr am Rande oder auf den aus einer einzigen Zellschicht gebildeten

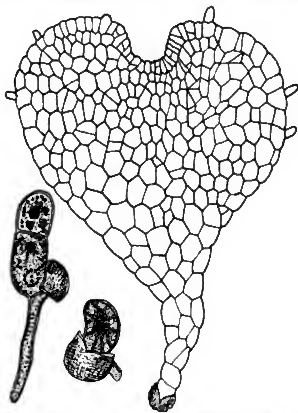


Fig. 164. Drei keimende Sporen des Adlerfarns mit verschieden entwickelten Prothallien; im größten derselben sind die Zellen leer gelassen. (Sehr starke Vergrößerung.)

Digitized by Google

Flügeln, die Archegonien dagegen auf dem mehrschichtigen Gewebepolster der Basismitte. Dabei treten letztere in der Regel etwas später als erstere auf. Durch diese sogenannte Proterandrie wird schon bei den noch fast stets monöcischen Farnen eine Kreuzbefruchtung durch Spermatozoiden eines benachbarten Prothalliums begünstigt. Indem die etwa 30 Archegonien, die nur mit dem Halsteile aus dem Vorkeimgewebe hervorragen, sich bei der Reife nach unten öffnen, treten die Eier durch das bei Regen den gesamten Vorkeim und dessen Umgebung benetzende Wasser mit den aus den sehr viel zahlreicher gebildeten warzenförmigen Antheridien stammenden Spermatozoiden in Wechselwirkung. Und zwar ist dieses Zusammentreffen der beiden zur Kopulation bestimmten Geschlechtsprodukte dadurch in hohem Maße begünstigt, indem das sich an der Halsspitze öffnende Archegonium die von den Antheridien ausschwärmenden, schraubig gewundenen, an den ersten Windungen auf der einen Kante eine Reihe beweglicher Wimperfäden tragenden Spermatozoiden durch sogenannte Chemotaxis anzieht. So finden sie sicher das der Befruchtung harrende Ei. Dieser, die Anziehung der Spermatozoiden zum befruchtungsfähigen Ei be-

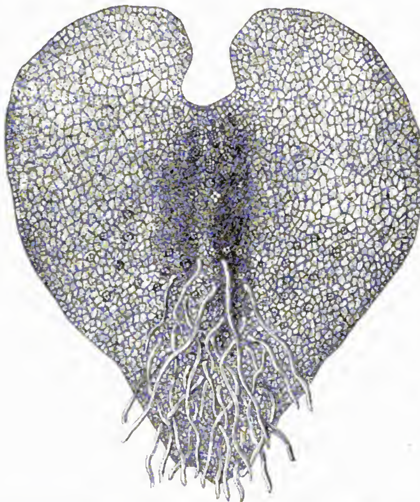
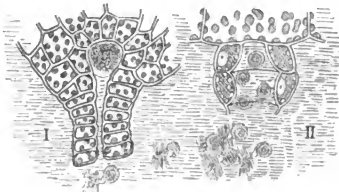


Fig. 165. Geschlechtliche Generation des Farnkrautes, das Prothallium oder der Vorkeim, schwach vergrößert von der Unterseite mit einer Gruppe Archegonien oben und zahlreichen, zerstreuten Antheridien. Dazwischen Wurzelhaare zum Festhalten des Prothalliums am Boden.

wirkende, vom Archegoniuminnern nach außen durch Diffusion ausstrahlende Stoff ist bei allen Farnen mit Einschluß der Selaginellen oder Bärlappgewächse die Äpfelsäure und deren Salze, die schon in einer Konzentration von 0,001 Prozent im Wasser, wie experimentell festgestellt wurde, die Samenkörperchen der Farne sehr kräftig anziehen. Das gleiche kann, nebenbei bemerkt, wenn auch bedeutend schwächer, mit einer etwas anders zusammengesetzten Säure, nämlich der Malleïnsäure bewerkstelligt werden, nicht aber mit der mit ihr stereoisomeren Fumarsäure. Bei den Moosen dagegen wird die Anziehung der Spermatozoiden durch die Ausscheidung von Rohrzucker aus dem Archegoniuminnern bewirkt. Wie bei den Moosen bewegen sich auch bei den Farnen die Spermatozoiden wenn bei Regenwetter das Prothallium gleichsam in Wasser eingebettet ist, auf den chemotaktischen

Fig. 166. I Geöffnetes Archegonium mit Ei und II ein in Entleerung begriffenes Antheridium mit ausschwärmenden Spermatozoiden in ihrer natürlichen Lage an der Unterseite eines Farnprothalliums. (350fach vergrößert.)



Reiz des vom Archegoniumhalse ausströmenden Stoffes auf denselben hin, um das in der Tiefe desselben geborgene Ei zu befruchten.

Jedes Prothallium erzeugt nur eine Farnpflanze und stirbt ab, sobald diese selbständig assimilieren kann. Das erste befruchtete Ei entwickelt sich alsbald ohne einen Ruhezustand durch reichliche Zellteilung zum Embryo, der, zunächst noch mit dem Fuße im Archegonium ruhend, sich von dessen Assimilationsprodukten ernährt, bald aber den Archegoniumbauch durchbricht und einesteils die sich nun bildende Wurzel in den Boden senkt, anderenteils aber die junge Farnpflanze mit ihren assimilierenden Blättern dem Lichte entgegen in die Lufthülle treibt, um sie fortan ihren Lebensunterhalt selbst gewinnen zu lassen. So bricht bei den Farnen aus der höchst unscheinbaren, von den gewöhnlichen Sterblichen vollkommen übersehenen geschlechtlichen Generation die große, stauden- ja baumförmige geschlechtslose hervor, die dann erwachsen meist an bestimmten Stellen der Unterseite der Blätter oder an besonders fruktifizierenden Blättern, wie oben kurz

Digitized by Google

ausgeführt, Sporen erzeugt und sie bei Trockenheit mit Unterstützung des Windes ausstreut.

Der auffallende Unterschied in den Generationen bei der Entwicklung von Moosen und Farnen, wo sich bei den ersteren aus der befruchteten Eizelle nicht eine Moospflanze, sondern eine gestielte Kapsel bildet, die vornehmlich als Raumparasit auf ersterer sitzen bleibt und auf ungeschlechtlichem Wege Sporen erzeugt, während bei den Farnen umgekehrt die ungeschlechtliche Pflanze, der Sporophyt oder Sporenerzeuger, stark entwickelt und die geschlechtliche Generation sehr stark

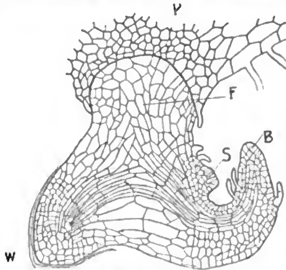


Fig. 167. Durchschnitt durch den Embryo eines Adlerfarns, der an der Unterseite des Prothalliums oder Vorkeims P aus dem auseinandergesprengten Archegonium hervorwächst. F der Fuß, womit er noch im erweiterten Archegoniumbauche steckend mit dem Vorkeim zusammenhängt, W die Wurzel, die sich gegen den Boden zuwendet, S der Stammscheitel, B das erste Blatt. (Vergr. 80.)



Fig. 168. Durch Befruchtung aus einem Vorkeime hervorgewachsene ungeschlechtliche Generation eines Farns, die sich selbstständig macht, wobei der nunmehr bedeutungslos gewordene Vorkeim abstirbt. (5fach vergrößert.)

zurückgebildet ist, erklärt sich ganz einfach so: Moose und Farne besaßen einst zwei gleiche Generationen, eine geschlechtliche und eine ungeschlechtliche. Durch die verschiedenen Aufgaben, denen sich die betreffenden Pflanzen unterzogen, wurde dann sekundär ihre Gestalt und Entwicklung verändert. Bei den Moosen wurde die ungeschlechtliche Form reduziert und nicht mehr von der höheren Pflanze getrennt. Bei den Farnen dagegen entwickelte sich der Sporophyt in hohem Maße, während die geschlechtliche Generation im unscheinbaren, lebermoosartigen Stadium stehen blieb.

Digitized by Google

Verfolgen wir die Entwicklung des Pflanzengeschlechts von den Farnen aufwärts, so finden wir von nun an die Prothallienbildung immer mehr eingeschränkt. Ja, das weibliche Prothallium wächst schließlich nicht mehr aus der Spore heraus. Dabei geht auch mit den Sporen eine Änderung vor sich. Während noch die große Menge der äußerst verschieden gestalteten Farne, wie die Moose, stets gleichartige Sporen hervorbringt und deshalb als isospore Filicinen bezeichnet wird, unterscheidet man eine von den Farnen abzweigende höhere Gattung als heterospore Filicinen oder Rhizocarpeen, d. h. Wurzelfrüchtler, weil bei ihnen ein und dieselbe Art verschiedenartige Sporen und zwar an unscheinbarer Stelle an der Basis der Pflanze, in der Nähe der Wurzeln erzeugt. Letztere, die auch wegen ihres Vorkommens im Wasser, da sie entweder darauf



Fig. 169. Salvinia, schwimmende Pflanze in natürl. Größe: ein Stück des Stengels mit zwei Luftblättern und dem dazu gehörenden dritten Wasserblatte, das in viele behaarte Zipfel zerschlitzt als wurzelartiges Organ ins Wasser hinabhängt. Ein Teil des letzteren ist in Fruktifikationsorgane umgewandelt.

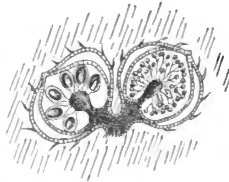


Fig. 170. Salvinia, Durchnitte durch zwei Sporenhäufchen, und zwar links Makrosporangium und rechts Mikrosporangium. (Schwach vergrößert.)

schwimmen oder durch dasselbe hindurchkriechen, Hydropteriden oder Wasserfarne bezeichnet werden, bilden in den sogenannten Mikrosporangien kleine, aber dafür sehr zahlreiche Mikrosporen, aus welchen dann bei der Keimung männliche Prothallien, d. h. solche mit nur männlichen Organen, und in den Makrosporangien größere und dafür wenige Makrosporen, aus denen weibliche Prothallien, d. h. solche mit nur weiblichen Organen hervorgehen.

Digitized by Google

Bei dieser Gruppe geht also die geschlechtliche Differenzierung bereits auf die Sporen über. Während die Farne noch dunkelgrüne, also selbständig assimilierende Prothallien oder Vorkeime bilden, erzeugt schon die fortgeschrittenste Familie derselben, diejenige der nach der Gestaltung der Blätter als Ophioglossaceen oder Schlangenzüngler bezeichneten, von denen die auf feuchten Wiesen nicht seltene Natterzunge, Ophioglossum vulgatum, und das auf sandigen Wiesen, zumal in Gebirgsgegenden vorkommende Botrychium Lunaria die bekanntesten sind, unterirdisch sich entwickelnde und infolgedessen chlorophyllose, saprophytisch im Boden lebende, überhaupt nur kurze Zeit bestehende Prothallien, an denen Antheridien und Archegonien hervorgehen. Bei den höher organisierten heterosporen Wasserfarnen, den Hydropteriden, geht die Reduktion der Prothallien noch weiter, indem sie nicht nur nicht mehr assimilieren, sondern immer winziger werden und sich auf wenige, überhaupt nicht aus der Sporenhaut heraustretende Zellen beschränken.

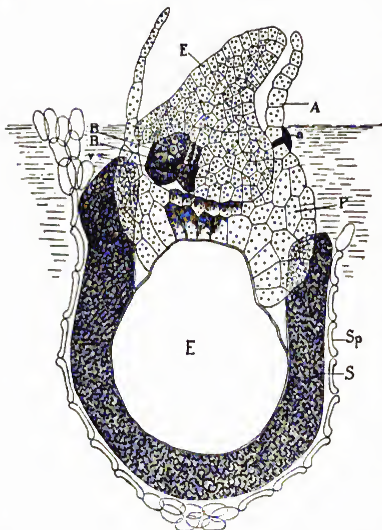


Fig. 171. Salvinia, Entwicklung einer auf dem Wasser schwimmenden Makrospore im Makrosporangium, das als hydrostatischer Apparat dient. Sp Sporangiumwand, S schaumige, später hartgewordene Schleimmasse, aus den aufgelösten sich nicht entwickelnden 63 Makrosporen entstanden (Episporium), darüber auf dem Reservenahrungsstoffbehälter E fußend das weibliche Prothallium P mit dem Archegonium A (a Archegoniumhals), worin der Embryo E mit den Anlagen der beiden ersten Blätter B und B, und der Stammspitze v sich findet. (130fach vergr.)

Digitized by Google

Die Makrosporen der heterosporen Filicinen, die den höchsten Sproß des Farnstammes darstellen, sind nur deshalb größer als die Mikrosporen, weil ihnen jetzt zum erstenmal eine gehörige Menge Reservenahrungsstoffe mitgegeben wird. Bei der in Altwässern und in Seen auch bei uns vorkommenden, sich meist ganz außerordentlich reich vermehrenden Salvinia natans, die in dieser Hinsicht noch weit durch die Arten der in den Tropen und Subtropen verbreiteten Gattung Azolla übertroffen wird, werden wohl auch wie bei den übrigen Formen mehrere Makrosporen angelegt, aber nur eine derselben entwickelt sich in einem jeden Makrosporangium, während sich die nicht entwickelnden 63 aus der Mutterzelle entstandenen übrigen zu einer schaumigen Schleimmasse auflösen, die später, hartgeworden, eine schützende Hülle um die eine, alle Nahrung aus jenen an sich ziehende bilden. Die solchermaßen reichlich mit Reservenahrungsstoffen aus 63 andern, zu ihren Gunsten nicht zur Entwicklung gelangenden Schwestersporenanlagen ausgestattete eine Makrospore treibt, auf dem Wasser schwimmend, einen winzigen weiblichen Vorkeim mit einem einzigen Archegonium, dessen Ei, von einem Spermatozoiden befruchtet — diese letzteren ihrerseits gehen in großer Zahl aus den Antheridien hervor, von denen jede der 64 aus der Mutterzelle hervorgegangenen Mikrosporen auf einem ganz rudimentären männlichen Prothallium auch nur je eine Spermatozoide hervorbringt — den Embryo erzeugt, der bei seinem durch die Reservenahrung gesicherten Wachstume bald den Archegoniumhals und die Sporangiumwand auseinanderdrängt und, dem Lichte entgegenwachsend, sich mit der Ausbildung eines einzigen primitiven kleinen Kotyledons oder Keimblattes bald selbständig zu ernähren vermag.

Noch weiter fortgeschritten ist die Reduktion, d. h. die Vereinfachung in Bezug auf die geschlechtliche Generation bei den die Tümpel und Sümpfe bewohnenden Marsiliaceen, deren in eine feste Wandung eingebetteten Makrosporen die Australneger wegen ihres reichen Gehaltes an mehligen Reservestoffen als beliebte Nahrung einsammeln, um davon während einiger Zeit zu leben. Bei ihnen, die in der Gattung Marsilia kleeähnliche Blätter aufweisen, welche auch nachts Schlafbewegungen, wie diejenigen des Kleees ausführen, um sich vor der Abendkühle zu schützen, entwickeln sich in der Mikrospore als ganzes männliches Prothallium anfangs nur zwei Zellen. Die eine derselben bleibt vegetativ, während die andere dann noch mehrere Teilungen erfährt und zuletzt aus jeder ihrer Zellen ein Spermatozoid

Digitized by Google

hervorbringt. In der großen Makrospore bildet sich ein ebenfalls ganz winziges weibliches Prothallium, das sich nur an der Spitze ganz unbedeutend aus der Umhüllung der Makrospore hervordrängt. An dieser Spitze nun entsteht das einzige, auffallend große, tief eingesenkte Archegonium — nur bei Nichtbefruchtung wird später ein zweites gebildet —, aus dem nach der Befruchtung die sich zum Embryo entwickelnde Eizelle, zunächst von den reichen Reservenahrungsmengen der Makrospore durch Vermittlung der darauf liegenden Vorkeimzellen ernährt, hervorwächst, um am Lichte ihr einziges primitives Kotyledon oder Keimblatt und später die eigentlichen Blätter zu entfalten und sich mit Hilfe der darin tätigen Chromatophoren selbständig zu ernähren.

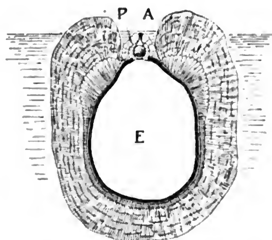


Fig. 172. Makrospore einer Marsiliacee (Pilularia) im Längsschnitt. Sie stellt einen auf dem Wasser schwimmenden hydrostatischen Apparat dar, dessen von Wachslamellen bedeckte gallertige Hülle aus den resorbierten Sporenmutterzellen und Mantelzellen des Makrosporangiums hervorging. Am Scheitel auf dem Reservenahrungsstoffbehälter E das kleine weibliche Prothallium — ohne die schützende Hülle dargestellt — mit dem Archegonium A, in welchem das befruchtete Ei ruht. (60 fach vergrößert.)

Bei den Equiseten oder Schachtelhalmgewächsen, deren Stamm unterirdisch als Rhizom in der feuchten Erde kriecht und grüne, assimilierende Sprosse an die lichtumflutete Oberwelt treibt, an denen sich am Ende eines Haupttriebs durchweg gleichartige Sporen in aus Blättern metamorphosierten Sporangien entwickeln, ist die Entwicklung eine ähnliche wie bei den vorigen. Aus den Sporensäcken werden die Sporen durch eine besondere Schleudervorrichtung hinausgeworfen. Um das dünne, die Spore allseitig umschließende Endospor liegt das dickere, in vier Schraubenbändern herumlaufende Exospor, das in seiner Mitte noch mit dem Endospor in Verbindung bleibt. Letzteres ist sehr hygroskopisch. Während es bei trockener Luft fest um das Endospor herumliegt, löst es sich bei Feuchtigkeitszutritt plötzlich ruckweise von demselben ab und wirkt so durch seine Entfaltung wie eine Schleuder, was für die Verbreitung der Sporen sehr wichtig ist. Die Sporen keimen sehr rasch und liefern zuerst schmale, bandförmige, später meist gelappte diöcische Prothallien. Daraus geht hervor, daß

Digitized by Google

sie trotz gleichen Aussehens doch auch männlich oder weiblich sind; denn die einen bilden nur Antheridien, die andern etwas größeren dagegen bloß Archegonien, und zwar in geringer Zahl. Die Antheridien entstehen auf den Vorkeimlappen. Ihre Spermatozoiden, die größten unter den Gefäßkryptogamen, sind denen der Farne ähnlich. Die Archegonien stimmen in ihrer Entwicklung mit denen der Farne überein,

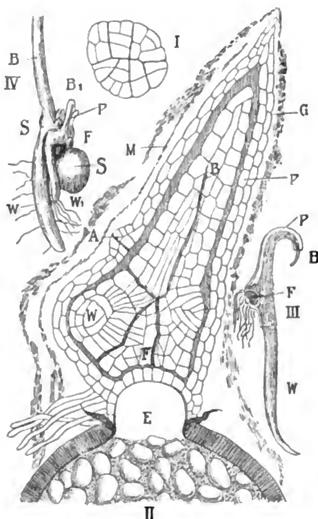


Fig. 173. Entwicklung von Marsilia. I Embryo von 34 Stunden. (230 fach vergrößert.) II Embryo von 4 Tagen im Längsschnitt auf der Spitze der Makrospore von Gallert umhüllt. Im Innern der Makrospore Reservestoffnahrung E, von welchem das weibliche Prothallium und der darin im Archegonium (A Archegoniumhals) eingeschlossene Embryo zehrt. W Wurzel, F Fuß und B erstes Blatt in der Anlage. (230 fach vergrößert.) III 9 Tage alter Embryo von der Spore abgelöst, bei F den Fuß mit seiner Höhlung zeigend; den Embryo umgibt noch als Scheide das Prothallium P, W Wurzel und B erstes Blatt. (7 fach vergrößert.) IV Ein rascher gewachsener Embryo von 7 Tagen mit der noch anhaftenden Makrospore Sp. Übrige Buchstaben wie vorhin, W Wurzel, F Fuß, P Prothallium, B und B1 1. und 2. Blatt, W und W1 1. und 2. Wurzel, S Stammscheitel. (14 fach vergrößert.)

doch geht die Halskanalzelle nur etwa bis zur Mitte des Halses hinauf, dessen vier oberste Zellen sich durch sehr bedeutende Länge und dadurch auszeichnen, daß sie sich beim Öffnen des Archegoniums wie Hörner nach außen krümmen. Die Entwicklung des Embryos nach der Befruchtung ist eine sehr rasche.

Im Gegensatz zu den heute lebenden Schachtelhalmen, bei denen die geschlechtliche Generation, die Prothallien mit ihren Geschlechtsorganen, den Antheridien und Archegonien, aus durchweg gleichartigen

Digitized by Google

Sporen hervorgehen, haben ihre in einem frühen Abschnitte der Erdgeschichte zu reicher Blüte gelangten Verwandten, die Calamitaceen, die im Oberdevon erschienen und im Perm verschwanden, aber in der Kohlenformation am reichsten entwickelt waren, als ein fortgeschrittener Zweig der Familie zum größten Teile schon eine Heterosporie

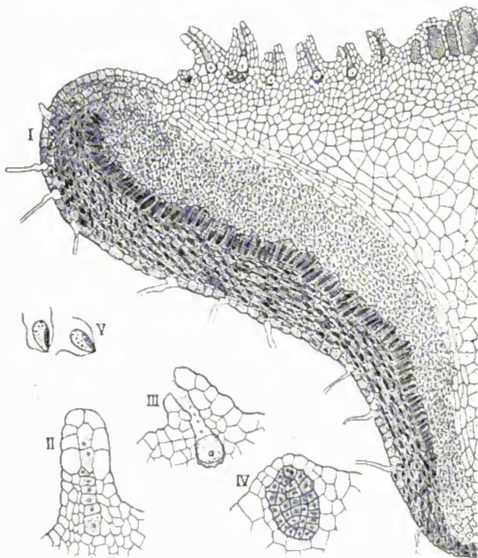


Fig. 174. I Die Hälfte eines medianen Schnittes durch ein junges Prothallium der Bärlapppflanze Lycopodium clavatum mit einigen Archegonien links oben, und vier Antheridien rechts oben, darunter das generative Gewebe, das seinerseits umgeben ist von einem an Nährstoffen reichen Speichergewebe. Darauf folgt nach außen ein derberes Hautgewebe, das sich innen in die Palisaden- und außen in die Rindenschicht mit den langen Wurzelhaaren sondert. II In Entwicklung begriffenes Archegonium, dessen unterste Halszelle die Eizelle liefert, III geöffnetes, reifes Archegonium mit Eizelle in der Tiefe, IV noch unentwickeltes Antheridium, V Spermatozoiden bei noch stärkerer Vergrößerung als die übrigen Figuren (nach Bruchmann).

Digitized by Google

ausgebildet. Sie besaßen große, bis zu 1 m dicke und 12 m hohe Stämme mit offenen Gefäßbündeln, d. h. sie waren zu einem Dickenwachstume befähigt, was den jetzt lebenden Schachtelhalmen völlig abgeht. Übrigens müssen sie mit ihren schmalbeblätterten Seitenzweigen viel mehr an Araukarien als an Schachtelhalme erinnert haben, waren überhaupt Riesen gegenüber den heute noch lebenden Schachtelhalmen, deren größte, allerdings nur auf die Tropen beschränkte Vertreter immerhin noch bis 7 m Höhe erreichen können.

Hieher gehört auch noch eine andere ausgestorbene Familie der Pteridophyten, nämlich die Sphenophyllaceen, wahrscheinlich untergetaucht lebende Wasserpflanzen, die ebenfalls ihre Blütezeit zur Karbonzeit besaßen und besonders im mittleren und oberen Karbon sehr formenreich waren. An einem ziemlich dick werdenden Stamme mit offenen Leitbündeln und deutlich ausgesprochenem Dickenwachstume saßen keilförmige, oft tief gespaltene Blätter zu sechsen oder einem Vielfachen dieser Zahl in Quirlen, besonders an den dünnen Verzweigungen des Stammes. Bei ihnen standen die Sporangienstände in lockeren Ähren. Die Sporophylle dieser Ähren trugen auf dem Mittelnerv ihrer Oberseite gestielte Sporangien, in denen sehr zahlreiche Sporen erzeugt wurden. Und zwar glaubt man ziemlich sicher von ihnen annehmen zu dürfen, daß ihre Sporangien zweierlei Sporen, also Mikro- und Makrosporen, enthielten.

Weiterhin gelangen wir beim Studium der Pflanzenentwicklung zu den Lycopodiaceen oder Bärlappgewächsen. Diese ebenfalls fast stets ausdauernden Pflanzen, deren Wurzeln und Stengel sich in der Regel dichotom, d. h. gabelig verzweigen, ein Umstand, der dieser Gruppe den Namen Dichotomen verschaffte, haben meistens kleine, stets einfache, sehr selten in zwei Lappen gespaltene Blätter. An der Basis der Oberseite der Sporophylle oder fruktifizierenden Blätter, die entweder dieselbe Gestalt wie die Laubblätter besitzen, in welchem Falle der fruchtbare Teil der Pflanze von dem unfruchtbaren nicht verschieden ist, oder aber, was sehr häufig vorkommt, in der Gestalt bedeutend von ihnen abweichen und in ährenförmigen Büscheln die Achsen abschließen oder auch in den Blattachseln auf dem Stamme sitzen, bilden sich die ziemlich großen, mit einem Querriß über dem Scheitel sich öffnenden Sporangien. Und zwar unterscheidet man auch bei ihnen eine isospore Gruppe, zu der die hauptsächlich im Tropengebiete der Erde verbreiteten Lycopodien im engeren Sinne gehören, und zwei heterospore Gruppen, die in der

Digitized by Google

Jetztzeit durch die unscheinbare Familie der Selaginellen und Isoetaceen vertreten ist, in der Vergangenheit jedoch, auch mit einer Blütezeit besonders während der mittleren und oberen Karbonformation, die mächtigen Lepidodendreen oder Schuppenbäume und die Sigillarien oder Siegelbäume zu ihren stolzesten Gliedern zählte.

Bei den isosporen Lycopodien oder Schlangenmoosen kann das aus den einerlei Sporen hervorgehende Prothallium sehr verschiedene Form und Ausbildung aufweisen. Es entwickelt sich entweder unterirdisch als ein knolliges, chlorophyllloses Gebilde, das aber dennoch selbständig leben kann, da es wie wohl die meisten saprophytischen Prothallien der höheren Wasserfarne in Symbiose mit es umwachsenden und in sein Inneres vordringenden Pilzen lebt, eine Form, die man

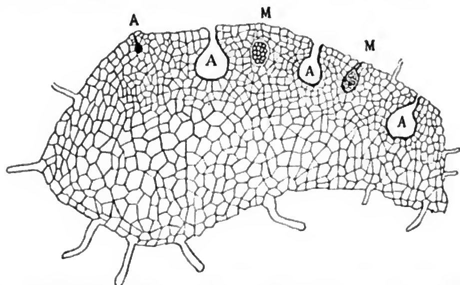


Fig. 175. Längsschnitt durch das chlorophyllfreie, saprophytisch im Boden lebende Prothallium (Vorkeim) von Ophioglossum mit 4 Archegonien A, wovon 3 mit befruchteten Embryonen, die weggelassen wurden. Dazwischen 2 Antheridien M, vollständig in das Vorkeimgewebe eingesenkt. Ihre Spermatozoiden sind denen der Farne ähnlich. (Vergr. 200.)

als Mykoprothallium bezeichnet, oder es wird oberirdisch angelegt, in welchem Falle aus der Spore kleine ergrünende Läppchen hervortreten. Selten kommt es auch vor, daß das Prothallium einen strangartigen, vielverzweigten, chlorophyllführenden Körper darstellt, der lange Zeit auf feuchter Erde oder sogar epiphytisch auf der Rinde hoher Urwaldbäume der niederschlagsreichen Tropen, in denen die hiehergehörenden Formen hauptsächlich vorkommen, zu leben vermag.

Bei den heterosporen Selaginellen sind die Sporophylle meist auffallend kleiner als die vegetativen Blätter und stehen in der Regel

Digitized by Google



Vegetationsbild der mittleren Steinkohlenzeit mit den wichtigsten Pflanzenformen dieser Erdperiode. Links ein Lepidodendronwald mit einem einzelnen Baume dieser Gattung davor. Zwischen beiden ein Farnbaum Caulopteris und ein kletternder Farn. In der Mitte ein Bestand von Calamarien und davor im Wasser schwimmend Sphenophyllaceen oder Keilblätter. Rechts ein Wald von Sigillarien; neben dem vordersten, besser ausgeführten Exemplar einige schlankere Cordaiten, davor Kletter- und andere Farne.

Digitized by Google

in ährenförmigen Verbänden, und zwar in den unteren Teilen als Makrosporangien, in welchen stets nur vier Makrosporen zur Entwicklung gelangen, in den oberen dagegen als Mikrosporangien, die je 64 männliche Sporen hervorbringen. Zwar teilen sich auch die Makrosporen bis zu 16 Zellen — müssen also in der Vorzeit in solcher Zahl ausgebildet worden sein —, aber nur vier davon gelangen zur Entwicklung und saugen die übrigen in sich auf. In den Mikrosporen entwickelt sich als Rudiment eines Vorkeims nur eine einzige vegetative Zelle,

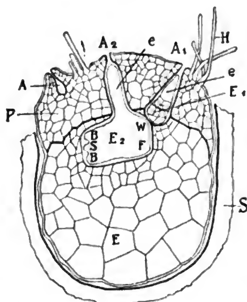


Fig. 176. Selaginella. Durchschnitt durch eine befruchtete Makrospore. Die gesprengte Sporenhaut S umschließt das oben herausragende weibliche Prothallium P mit einigen Saughaaren H und 3 Archegonien. A unbefruchtetes Archegonium; in A₁ und A² verschieden weit entwickelte Embryonen E₁ und E₂. Zunächst am Archegoniumhals der Embryoträger e, der dazu dient, den Embryo durch die durchbrochene Archegoniumwand in das nährende Endosperm E hinabzutragen; W Wurzel, F Fuß, S Scheitel, B u. B₁ 1. u. 2. Blatt. (165 fach vergrößert.)

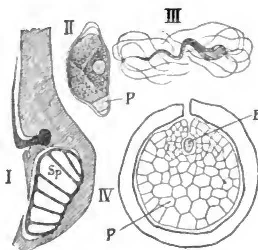


Fig. 177. Isoëtes. I Medianer Längsschnitt durch die Blattbasis mit dem Sporangium Sp, durch dessen Platzen sich die Sporen entleeren. II Eine Spermatozoidenmutterzelle durch Teilung in vier Spermatozoiden zerfallend, an deren Basis das rudimentäre männliche Prothallium P. (580fach vergrößert.) III Ein Spermatozoid mit den Ruderfäden. (700fach vergrößert.) IV Durchschnitt durch eine am Scheitel geöffnete Makrospore. Die Sporenhaut umschließt das weibliche Prothallium P mit 1 Archegonium an der Spitze. In der Tiefe des Archegoniumhalses das Ei E.

während der ganze übrige Inhalt zur Bildung der 64 Spermatozoiden verbraucht wird. Es wird also kaum noch ein Prothallium hervorgebracht. Das weibliche Prothallium, das sich oft schon bildet, während das Sporangium noch auf der Selaginellapflanze steht, durchbricht mit einer Spitze die Makrospore, ergrünt sehr bald und zeigt dann auf

Digitized by Google

diesem herausgetretenen Teil ein endständiges und zwei seitenständige Archegonien, während der die Spore ausfüllende Teil chlorophylllos bleibt und dicht mit Nährstoffen erfüllt ist. Der aus dem Fuß der auskeimenden jungen Pflanze gebildete Embryoträger dient dazu, den Embryo durch die durchbrochene Archegoniumwand in das als Endosperm bezeichnete Nährstoffreservoir hinabzutragen. Die wasserliebende Gattung Selaginella mit 500 Arten ist fast ausschließlich tropisch, namentlich in Amerika vorkommend, und bildet nach dem englischen Forscher Bates im feuchten Urwald Brasiliens moosartig dichte Polster.

Die Vertreter der zweiten heterosporen Gruppe der Isoëtaceen, die in 62 meist untergetauchten, seltener an feuchten Orten lebenden Arten über die ganze Erde verbreitet sind, besitzen einen knollenförmigen, mehrjährigen, durch offene Gefäßbündel ausgezeichneten und deshalb eines Dickenwachstums fähigen Stamm, an welchem dichtgedrängt in Spiralen die binsenförmigen Blätter sitzen, die alle paar Jahre in taschenförmigen Auftreibungen an der Blattbasis Sporangien bilden. Sie sind alle monöcisch, d. h. dieselbe Pflanze entwickelt sowohl Mikrosporangien, auf den jüngern innern Blättern, und Makrosporangien, auf den älteren äußern Blättern. Da aber die Pflanze fast stets proterogyn ist, d. h. die Makrosporen vor den Mikrosporen reifen, muß auch hier doch vorwiegend eine Kreuzbefruchtung eintreten.

In den Mikrosporen, deren jedes Mikrosporangium 64 entwickelt, wird bei der Keimung am untern Ende eine kleine sterile Zelle als rudimentäres männliches Prothallium abgeschnürt. Der Plasmainhalt der großen Zelle, die das Antheridium repräsentiert, zerfällt nun in vier große Primordialzellen, von denen jedoch nur die beiden bauchständigen je zwei schraubig gewundene Spermatozoiden erzeugen, die unter allen Gefäßkryptogamen dadurch ausgezeichnet sind, daß sie, statt nur an einem, an jedem der beiden zugespitzten Enden mit einem Büschel langer Wimperfäden versehen sind. In der Makrospore dagegen bildet sich ein kleines weibliches Prothallium, das nur mit seinem Scheitel aus der sich öffnenden Sporenhaut hervorragt und hier ein einziges Archegonium mit sehr kurzem Halse bildet. Nur wenn dieses nicht befruchtet wird, geht später ein zweites, manchmal sogar ein drittes hervor. Bei dem durch Befruchtung des Eies entstandenen Embryo wird die obere, stärker wachsende Hälfte zum ersten Blatte, dem Keimblatt, und zeigt in der Folge eine wachsende Ähnlichkeit mit einem Gymnospermenkeimlinge. Wir merken also, daß wir damit bereits an

Digitized by Google

die Schwelle der nacktsamigen Phanerogamen, also der eigentlichen Samenpflanzen, gelangt sind.

Im Gegensatz zu den wenigen, unscheinbaren heterosporen Lycopodieen der Jetztzeit hat besonders zu paläozoischer Zeit eine Fülle der mannigfaltigsten Vertreter dieser Gattung existiert. Dahin gehören vor allem die verschiedenen, während der mittleren und oberen Kohlenformation zu höchster Blüte gelangten Gruppen der bereits erwähnten Lepidodendren oder Schuppenbäume und Sigillarien oder Siegelbäume. Es waren dies altertümliche, durch dichotomes

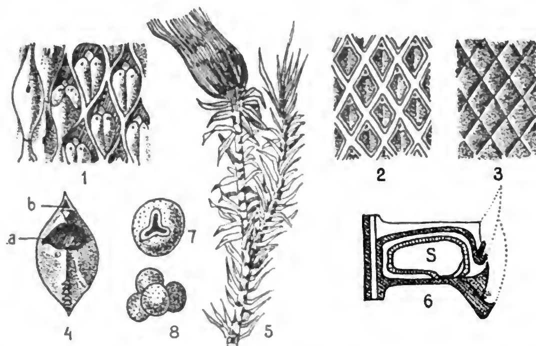


Fig. 178. Überreste von Lepidodendren oder Schuppenbäumen der Steinkohlenformation. 1 Blattnarben von Lepidodendron obovatum, 2 solche von Bergeria angulata, 3 solche von Lepidodendron nothum 4 Blattpolster von Lepidodendron durch Ausguß eines Hohldrucks gewonnen, a) Abbruchstelle des Blattes, b) Sporangiumansatz. 5 Lepidodendron Veltheimianum, beblätterte Zweigenden mit jungem Lepidostrobus. 6 Zwei Sporophylle, das untere ein Sporangium S tragend. 7 Makrospore und 8 Mikrosporendetrade von Lepidostrobus (nach Schumann).

Wachstum ausgezeichnete, baumförmige Bärlappgewächse, die ebenfalls noch alle solche kleinen Vorkeime entwickelten. Ihr dichotomes, d. h. gabelig verzweigtes Wachstum war ein altes Erbe ihrer noch an der Meeresküste hausenden Algenvorfahren; da es sich aber nur für das Wasserleben als zweckmäßig erwies, wurde es deshalb später von den am Lande wachsenden höheren Pflanzen, mit Ausnahme der auch sonst noch recht altertümlichen Nadelholzgattung der Araukarien Südamerikas und Australiens, vollständig aufgegeben.

Digitized by Google

Bei den bis 30 m hoch und bis 1 m dick werdenden Lepidodendren oder Schuppenbäumen, von denen wir heute etwa 160 fossile Arten kennen, war der Stamm und alle gabelig sich teilenden Sprosse mit längeren oder kürzeren, grasartig schmalen Blättern in Spiralwindungen bedeckt. Indem sie beim Dickenwachstume des Stammes abfielen, bildeten dort ihre elliptischen Blattnarben die bekannten Schuppenmuster, die ihnen zu ihrem Namen verhalfen. Wie bei den heute noch lebenden Bärlappgewächsen bildeten sich an den Sproßenden ihre verhältnismäßig sehr dicht mit großen Tragblättern besetzten, tannzapfenartigen Sporangienstände, welche auf ihrer Basis langgestreckte, sackförmige Sporangien mit Makro- und Mikrosporen trugen und vor diesen fast im rechten Winkel nach aufwärts gebogen waren. Die ersten jedoch noch zweifelhaften Formen dieser Familie traten im Devon auf, doch erreichten sie ihre höchste Entwicklung während der oberen Kohlenformation, in welcher die Gattung Lepidodendron allein mit 65 Arten vertreten war. Neben den bereits besprochenen Calamiten und den folgenden Sigillarien waren sie die Haupterzeuger der Kohlenlager dieser Zeit.

Mit diesen Gefäßkryptogamen vergesellschaftet war die den Lepidodendren nahe verwandte Familie der Sigillarien oder Siegelbäume, die ebenfalls in großer Mannigfaltigkeit der Formen, während der Kohlenformation auftraten. In den untersten Lagen noch außerordentlich selten, werden sie in den mittleren und oberen sehr häufig, um dann zu Beginn der Permzeit, im Rotliegenden, langsam wieder zu verschwinden. Ihre einfachen, seltener dichotom, aber auch dann nur spärlich verzweigten Stämme erreichten bei 1 m Dicke bis 25 m Höhe und trugen lange schmallineale, schilfartige Blätter in einem dichten Schopfe, die nach ihrem Abfallen an den älteren Stammteilen eigentümliche siegelartige Narben auf der ebenfalls wie bei den Lepidodendren glatten Rinde zurückließen. Während sie aber bei jenen in starren Schrägzeilen lagen, erscheinen sie hier in geraden Längszeilen. Die Sporangien der ebenfalls tannzapfenartigen Fruchtstände enthielten gleicherweise Makro- und Mikrosporen. Außer an den Sproßenden müssen sie hier aber auch an dem Winkel der ersten Stammgabelung gehangen haben, da dort ebenfalls ihre Stiele nach dem Abfallen besonders kenntliche Narben hinterließen.

Wie heute noch ihre am Leben gebliebenen Verwandten, waren alle jene altertümlichen Pflanzenformen in hohem Maße wasserliebend. Der sumpfige Moorgrund war ihr bevorzugter Standort. Auf diesem

Digitized by Google

schwankenden Boden mußten ihre schweren Stämme sich durch horizontal stark ausbreitende Wurzelstützen festankern, um nicht vom Sturmwinde umgeworfen zu werden. Auch unsere Kiefern bilden eine solche Stellung ihrer Wurzeln aus, sobald sie auf unsicherem Moorboden wachsen. Dazu dienten ihnen die als Stigmarien bezeichneten, unterirdisch im Schlamme dahinkriechenden Stammgebilde, eine Art Wurzelstöcke oder Rhizome mit Blattgebilden, die eine wurzelähnliche Ausbildung erfahren hatten und zur Aufnahme von Wasser mit den betreffenden Nährsalzen dienten. Man hat schon öfters mächtige, bis über meterdicke Stämme von Sigillarien gefunden, welche am Grunde deutlich in die Stigmarienform übergingen. Diese Stigmarien erreichten eine Länge von 6 bis 9 m, verzweigten sich wiederholt gabelig in einer Ebene und sind oft mit langzylindrischen, nach der Spitze zu sich allmählich verjüngenden Anhängseln, den sog. Appendices, versehen, die Wurzelfunktion ausübten.

Die Heterosporie, die noch zur Karbonzeit bei den höchsten damals lebenden Pflanzenformen vorherrschte, war und ist heute noch wegen der nur in einem nassen Medium vor sich gehenden Befruchtung vollständig an das Wasser gebunden, durch welches die Spermatozoiden chemotaktisch auf die verschiedenste Weise in den bei der Eireife geöffneten Hals des Archegoniums zur Eizelle geleitet werden. Dieses Prinzip mußte endlich einmal, wollte sich die Pflanze das Land ganz erobern, als nicht mehr für den oft genug völlig austrocknenden Boden geeignet endgültig verlassen werden. Dieser äußerst wichtige Fortschritt wurde im Pflanzenreiche schon zur mittleren Kohlenzeit gemacht und führte allmählich zu den Phanerogamen, d. h. zu den zuerst Blüten und dann Samen hervorbringenden Antho- oder Spermatophyten. Bei ihnen löste sich als nächstliegende Vervollkommnung die Makrospore nicht mehr zur im Wasser vorzunehmenden Befruchtung von der sie erzeugenden Pflanze ab, sondern sie blieb ruhig im Sporangium, das sie hervorgebracht hatte, liegen. Die Anbahnung dieses Fortschrittes haben wir bereits bei den höchsten Farnen, den Wasserfarnen konstatieren können, bei denen das weibliche Prothallium schließlich nicht mehr aus der Makrospore herauswächst. Damit, daß nun das alte Erbe der thallusbildenden Vorfahren, die Bildung eines Vorkeims immer mehr auf einige wenige und schließlich bloß noch auf eine einzige Zelle, wie bei den rudimentären männlichen Prothallien der höchststehenden Wasserfarne, eingeschränkt wurde, sparte die Pflanze auch Bildungsmaterial, aus dem sie direkt, ohne den Umweg einer

Digitized by Google

Prothallienbildung die zu erzeugende junge Generation hervorzubringen vermochte.

Dadurch, daß die Makrospore in dem sie hervorbringenden schützenden Gehäuse, dem Makrosporangium bleibt, bedarf sie selbst keiner Schutzhülle mehr. Sie bildet sich zum Knospenkern um, der von einem Fruchtblatt als dem umgewandelten Makrosporangium umschlossen wird. Das nackte Ei liegt also wohlgebettet in einem sich bildenden Fruchtknoten. In Reminiszenz an das alte Archegonium hat die Samenknospe noch immer deren krugförmige Gestalt und wird von der schützenden Hülle des Integuments umschlossen, die dem Indusium der Farne entspricht und später zur hornartig festen Samenschale wird.

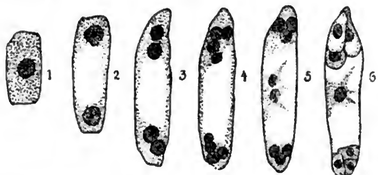


Fig. 179. Aufeinanderfolgende Entwicklungsstadien des Keimsackes einer angiospermen Pflanze. Aus einem Zellkern bilden sich 8, die zu 4 auseinanderrücken, je 2 davon verschmelzen zum Embryosackkern, der sich in die Mitte lagert (6), zu oberst findet sich die Eizelle mit den beiden Synergiden, die vermutlich mit der Ernährung dieser Eizelle etwas zu schaffen haben, und zu unterst die Antipoden.

Wie die Makrospore einst das weibliche Prothallium erzeugte, so erzeugt der Knospenkern den Embryosack als ein diesem gleichwertiges Gebilde. Dieses läßt dann nach der Befruchtung das Nährgewebe des Endosperms aus sich hervorgehn, das bei den niedersten Phanerogamen, den Gymnospermen oder Nacktsamigen, lange vor der Entstehung des Eies sich bildet. Gleich der Makrosporenmutterzelle bildet die Embryosackmutterzelle vier Zellen, von denen sich jedoch nur eine zum Embryosacke weiter entwickelt, während die übrigen drei von dieser einen verquetscht und aufgesaugt werden. Diese eine teilt sich dann in acht Zellen, wovon zwei, die anfänglich etwas gegen die Pole des Embryosacks auseinandergerückt waren und deshalb als Polzellen bezeichnet werden, sich mit ihren Kernen zu einem einzigen vereinigen, den man als Embryosackkern bezeichnet. Schließlich haben wir im Embryosacke der höheren Phanerogamen, das dem Prothallium der Kryptogamen entspricht, sieben Zellen, statt der ursprünglich angelegten acht, nämlich: in der Mitte desselben den aus der Verschmelzung zweier

Zellen entstandenen Embryosackkern, am oberen Pole, d. h. an demjenigen, an welchem die Befruchtung durch das Herantreten des Pollenschlauchs mit dem Sperma- oder Samenkern vollzogen wird, die Eizelle, umgeben von den beiden als Synergiden, d. h. Gehilfinnen bezeichneten Zellen — dem rudimentären Archegoniumapparat — und am untern, dem Befruchtungspole entgegengesetzten Pole die drei Antipoden oder Gegenfüßlerzellen.

Die Mikrospore der höheren Gefäßkryptogamen wird nun zum Pollenkorn. Während noch die Gymnospermen vor der Reifung der Pollenzelle am Grunde des Pollenkorns zwei Zellen als rudimentäres männliches Prothallium hervorbringen, erzeugen die Angiospermen nur noch eine einzige solche als letzter Überrest jenes altertümlichen Vorkeims, den die ihnen in der geologischen Vergangenheit vorangegangenen niedrigeren Formen noch vollständig ausbildeten. Während aber bei jenen die aus den Mikrosporen austretenden Spermatozoiden durch eigene Bewegung vermittelst Wimperhaaren, vom Archegoniumhalse chemotaktisch angezogen, zur Makrospore mit dem rudimentären weiblichen Prothallium und dem im Archegonium eingebetteten Ei durch das Wasser hindurchschwammen, wird von jetzt an die zum Pollenkorn umgewandelte Mikrospore unabhängig vom nicht mehr überall zur Verfügung stehenden Wasser zuerst durch den Wind, auf einer spätern Stufe dagegen durch Tiere, besonders durch beflügelte Insekten, dann aber rückläufig bei einigen Formen wieder durch den Wind oder gar durch das Wasser, auf dem sie schwimmt, auf den weiblichen Fruchtstand übertragen, wo sie bei den niedrigsten Formen der Phanerogamen, den Gymnospermen, durch einen aus der sogenannten Mikropyle, einem dem Archegoniumhalse der Kryptogamen entsprechenden Gebilde, durch einen klebrigen Tropfen aufgefangen und durch Austrocknung desselben ins Innere hineingezogen wird, um die Befruchtung zu vollziehen. Diese letztere wird durch das Treiben eines

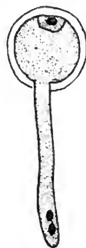


Fig. 180. Keimendes Pollenkorn einer phanerogamen Pflanze, schematisiert, mit rudimentärem männlichen Prothallium im Grunde der schützenden Haut in Form einer sterilen Zelle. An der Spitze des Pollenschlauches zwei Kerne: 1. der generative Kern, zur Befruchtung der Eizelle, 2. der vegetative Kern, zur Kopulation mit dem Embryosack und zur Bildung des Endosperms. (Sehr stark vergrößert.)

Digitized by Google

Pollenschlauches durch Auswachsen der Intine oder Innenhaut der großen Zelle des Pollenkorns dem rudimentären Prothallium gegenüber gebildet, wobei die Exine oder Außenhaut gesprengt und teilweise, nämlich bei den Koniferen, gänzlich abgestreift wird. Schon bei Salvinia, dem heterosporen kleinen schwimmenden Wasserfarne läßt sich die Tendenz zur Austreibung eines solchen Pollenschlauches feststellen, aber diese Neuerung erlangte erst von nun an größere Bedeutung. Dieser Pollenschlauch trägt an seiner stetsfort wachsenden Spitze den Samenkern mit der halben Chromosamenzahl. Durch einen von den Samenanlagen und später schon von der Narbe ausgehenden Reiz, bestehend bei den einen in gewissen Zuckerarten, wie Dextrose und Laevulose, bei andern dagegen, z. B. bei Liliengewächsen, wie bei der blauen Scilla bifolia, oder der gelben Hemerocallis flava oder bei der gewöhnlich als Laurus tinus bezeichneten Schneeballart Viburnum nitidum in bestimmten Eiweißstoffen, wächst die chemotropisch reizbare Spitze des nach Bildungsstoffen zu seinem Wachstume hungrigen Pollenschlauches den ihnen immer neue Nahrung darbietenden Stellen zu, bis sie zur Eizelle gelangt und den Samenkern mit etwas Plasma an den Eikern zu gegenseitiger Verschmelzung abgeben kann. Dabei kann die Länge des Pollenschlauches bei manchen langgriffeligen Blüten bis 10 cm und mehr betragen.

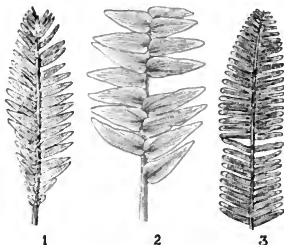


Fig. 181. Wedel von Cycadeen oder Palmfarnen der Sekundärzeit: 1 Zamites Moreaunus und 2 Otozamites decorus, beide aus der Juraformation, 3 Pterophyllum concinnum aus der Kreidezeit.

Bei den besonders zur Trias- und Jurazeit sehr artenreichen Cycadeen, der wegen ihrer äußeren Erscheinung als Palmfarnen bezeichneten niedrigsten Familie der Nacktsamigen, die heute nur noch in 50 Arten in den Tropen und Subtropen vorkommen, sind die Fruchtstände diöcisch, nackt in Zapfen, die männlichen nur aus schuppenförmigen Staubblättern bestehend, die auf der Unterseite zahlreiche, oft in Gruppen gestellte Pollensäcke tragen, die weiblichen dagegen aus metamorphosierten Blättern des Stammgipfels hervorgegangen, der

Digitized by Google

dabei sein Scheitelwachstum nicht einstellt, sondern dasselbe mit gewöhnlichen Laubblättern fortsetzt. Dabei trägt das einzelne Laubblatt auf der Unterseite oder am Rande 2 bis 6 nackte Samenanlagen.

Ist ein vom Blütenstand einer männlichen Cycas durch den Wind verwehtes Pollenkorn, oder auch mehrere, an der Mikropyle der Samenknospe einer benachbarten fruktifizierenden weiblichen Artgenossin hängen geblieben, so wird es durch Verdunstung der betreffenden Flüssigkeit in die Pollenkammer hineingezogen. Es ist dies ein durch Einschmelzung des Nucellusgewebes entstandener Hohlraum, der sich mit

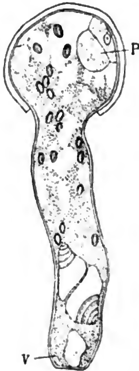


Fig. 182. Pollenzelle der Cycadee Ceratozamia einen Schlauch austreibend. An der Spitze desselben befinden sich zwei Spermatozoiden, die in der Nähe der Eizelle frei werden und sich mit ihren Wimperkränzen selbständig durch das in der Pollenkammer angesammelte atmosphärische Wasser fortbewegen, um die Befruchtung zu vollziehen. Am Grunde der Pollenzelle (Mikrospore) das aus zwei Zellen bestehende rudimentäre männliche Prothallium P, an der Spitze die Austrittsstelle V der Spermatozoiden. (480 fach vergr.)



Fig. 183. Das auch in seiner Heimat Ostasien kaum noch in wildem Zustande bekannte lebende Fossil Gingko, Salisburia biloba. I Zweig des männlichen Baumes, II ein zweifächeriges Staubblatt, III weiblicher Blütenstand mit einigen jungen Früchten.

Wasser füllt. In diesem Wasserbehälter treibt der keimende Pollen winzige Würzelchen, mit denen er sich am Nucellusgewebe verankert, um alsbald zwei Spermatozoiden zu entlassen, welche in der Flüssigkeit schwimmend chemotaktisch von den zwei in das Endosperm eingebetteten Archegoniummündungen angezogen und zur nackt im Archegonium-

Digitized by Google

bauche liegenden Eizelle geführt werden, um an ihr die Befruchtung zu vollziehen.

Ganz dieselben Verhältnisse treffen wir bei einem weitern lebenden Fossil, dem schon durch seine altmodischen breitlappigen Blätter als ein Relikt aus uralter Zeit sich ausweisenden Gingkobaume, Salisburia

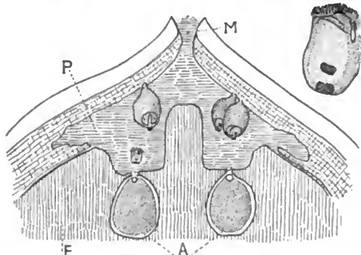


Fig. 184. Die Befruchtung der Blüte des Gingkobaumes, Salisburia biloba. Drei Pollenkörner sind durch die Mikropyle M in die Pollenkammer P eingetreten und haben sich an deren Wandung verankert; ein jeder derselben entläßt nun zwei Spermatozoiden, welche mit ihrem Wimperorgan durch die Flüssigkeit schwimmend die in den beiden Archegonien A befindlichen Eizellen befruchten. E Nährgewebe des Endosperms. Daneben stärker vergrößert ein Spermatozoid mit dem generativen und vegetativen Kern.

biloba. Von diesem nur noch in Ostasien heimischen, getrenntgeschlechtigen, d. h. männliche und weibliche Blütenstände auf verschiedenen Individuen hervorbringenden, noch im Miocän aber ganz Europa bis weit nach Norden hinauf bewohnenden Baume lassen sich die nächsten Verwandten, die sich von ihm nur durch mehr oder weniger geschlitzte Blätter unterscheiden, bis zu Beginn der Permzeit verfolgen.

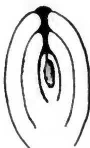


Fig. 185. Schematischer Durchschnitt durch die Blütenknospe einer Phanerogamen. Die Eianlage von den beiden Integumenten umgeben. Über ihr starke Ausscheidung von klebriger Traubenzuckerlösung, welche den darauf gewehten Pollen durch Vertrocknung hineinzieht und den alsbald treibenden Pollenschlauch durch die Mikropyle zum Ei gelangen läßt.

Cycas und Gingko sind die letzten Vertreter einer niederen, sonst heute ausgestorbenen Art von nacktsamigen Samenpflanzen, welche die an das Vorhandensein von Wasser geknüpfte Bildung von Spermatozoiden zur Befruchtung der noch wie in früheren Zeiten im Archegoniumbauche liegenden Eizelle vornehmen. Die nächsthöhere Ordnung der Koniferen oder Nadelhölzer kennt weder einen sich mit Würzelchen in einer Pollenkammer verankernden Pollen, noch auch Spermatozoiden,

sondern ihr nunmehr durch eine merkwürdige Auftreibung der Exine oder Außenhaut mit Luftsäcken versehener Pollen, der, so spezifisch leichter geworden und dem Winde eine große Oberfläche darbietend, sehr weit zu fliegen vermag, treibt, auf die weiblichen Blütenzapfen gelangend und von dem zur Mikropyle austretenden klebrigen Tropfen festgehalten und ins Innere gezogen, einen langen Schlauch, der reich an Plasma ist, das auch kleine Stärkekörner enthält und nach sehr langsamem Wachstume zu den Archegonien gelangt, um die darin eingebetteten Eizellen zu befruchten. Bei den Taxineen und Abietineen, d. h. Eiben- und Tannengewächsen, bei welchen 3—5 beziehungsweise

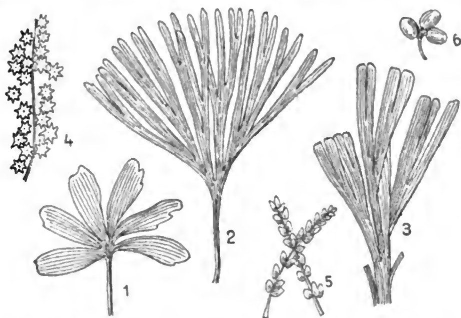


Fig. 186. Breite Blätter von altmodischen Gymnospermen der Primär- und Sekundärzeit: 1 Gingko pluripartita aus dem Wealden, 2 Baiera Münsteriana aus dem Jura, 3 Gingkophyllum Grasseti aus dem Perm. 4—6 Fruktifikationsorgane der Baiera Münsteriana: 4 männliches Blütenkätzchen, 5 zwei solche nach dem Ausfallen des Pollens aus den Antheren, 6 Früchte.

5—8 Archegonien in einer Samenknospe entstehen, ist für jedes Archegonium ein Pollenschlauch nötig, bei den Cupressineen oder Zypressengewächsen dagegen wird die Befruchtung der 5—30 in einer Samenknospe entstehenden Archegonien nur von einem Pollenschlauche vollzogen, indem sich dieser über den Archegonien fußartig verbreitert und so viele papillenartige Ausstülpungen treibt als Archegonien vorhanden sind. Von den vielen Embryoanlagen, die in einer Samenknospe entstehen, entwickelt sich aber stets nur eine einzige zum Keimlinge weiter, während alle andern früher oder später zugrunde gehen. Der aus der Eizelle hervorgegangene Embryo aber, der sich noch bei den Ge-

Digitized by Google

fäßkryptogamen sofort weiter entwickeln konnte, muß von jetzt an bei allen Phanerogamen seine Entwicklung unterbrechen. Reich mit Reservestoffen ausgestattet und von hornartig undurchlässigen Schalen umgeben, wird er als Samen von der ihn erzeugenden Pflanze ausgestoßen, um durch die verschiedensten, oft sehr raffiniert durchgeführten Einrichtungen möglichst weit von der Mutterpflanze weggeführt zur Weiterentwicklung zu gelangen.

Wie die Gefäßkryptogamen zur paläozoischen Zeit die höchsten Vertreter der Pflanzenwelt waren, waren es in der mesozoischen Zeit die Gymnospermen, die als Bewegungsmittel bei der Befruchtung

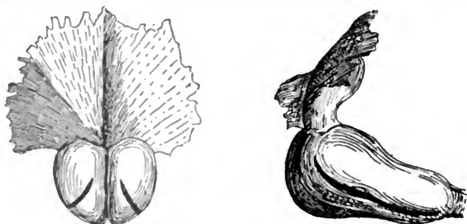


Fig. 187 u. 188. Männliches Sporophyll oder Staubblatt der Weißtanne von vorn und von der Seite gesehen mit Längsschlitz zur Entlassung des Pollens, der mit Luftsäcken versehen vom Winde dahin getragen wird. (Vergr. 25.) Die Pollenfächer entsprechen also den Mikrosporangien der Pteridophyten.

nicht mehr wie jene durch Ausbildung von Spermatozoiden das Wasser, sondern die Luft benützten. In der letzten Periode derselben, zur Kreidezeit, wurden gewisse Gymnospermen wiederum zwitterig und führten zur Ausbildung der Angiospermen, der eigentlichen Blütenpflanzen. Bei ihnen ist die bei den höheren Gefäßkryptogamen als Regel und auch bei den Kryptogamen noch ziemlich häufig ausgebildete Getrenntgeschlechtigkeit der Individuen nur noch höchst selten ausgebildet. Diese Wiedereinführung der Zwitterigkeit bei den höheren Pflanzen, ein Zustand also, den das höhere Tier vollständig perhorresziert und nur ganz ausnahmsweise als krankhafter Rückschlag bei der Entwicklung kennt, ist ein entschiedener Rückschritt, wurde aber aus inneren Gründen der Zweckmäßigkeit getan. Sie hatte insofern bei der Erzeugung der Keime nichts zu bedeuten, da dennoch stets eine Kreuzbefruchtung durch Übertragung von männlichen Geschlechtsprodukten einer andern Pflanze auf die weiblichen Organe der einen fruktifizierenden

Digitized by Google

stattfand. Und auch da, wo die angiosperme Pflanze getrennte Geschlechter bildet, ist die Verschiedengeschlechtigkeit keine allzutiefgehende, im Wesen der einzelnen Individuen begründete. So ist es von der den Kautschuk liefernden mittelamerikanischen Castilloa elastica, einem 12—15 m hoch werdenden Baume aus der Familie der Moraceen oder Maulbeerartigen, sicher festgestellt, daß sich die weiblichen Bäume in männliche verwandeln, sobald die Rinde der ersteren längere Zeit der Sonne ausgesetzt wird. Es können also bei manchen getrenntgeschlechtigen Pflanzenarten bei Änderungen der Daseinsbedingungen Änderungen des Geschlechtscharakters vor sich gehen; demnach müssen die Anlagen zu beiden Geschlechtern in demselben Individuum schlummern, bis die eine oder die andere Sexualität gelegentlich geweckt wird.

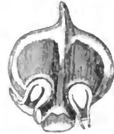


Fig. 189. Weibliches Sporophyll oder Fruchtblatt einer Konifere, und zwar der Kiefer, Pinus silvestris, von unten mit zwei Fruchtanlagen. Aus jeder Eiknospe tritt ein klebriger Tropfen, der die vom Winde dahin transportierten Pollenkörner auffängt und dem Ei zur Befruchtung zuführt. Jede Fruchtanlage entspricht also einer Makrospore der Pteridophyten.

Auch bei ihnen ist die Blüte stets noch ein metamorphosierter Sproß. Die männlichen Blüten sind Sporangienstände, bei welchen an einer Achse eine große Anzahl von Sporophyllen oder Staubblättern mit Säckchen, den Staubbeuteln, an der Unterseite sitzt, welche die Mikrosporen, den Pollen, erzeugen. Auch die weiblichen Blüten sind an schuppenartigen Fruchtblättern, sogenannten Carpellen, sitzende Sporangienstände. Die ebenfalls aus metamorphosierten Blattanlagen gebildete Blütenhülle wird immer besser ausgebildet; nur ganz ausnahmsweise fehlt sie, wie bei den Pfefferarten und Aronsstabgewächsen, bei welch letzteren ein mächtig ausgebildetes Hochblatt als Scheide, Spatha, ihre Stelle einnimmt. In andern wird sie nur aus einer und dann als Perigon bezeichneten Blattformation gebildet, deren Glieder dann gewöhnlich klein, grün und unscheinbar wie bei den Brennesseln und Knöterichen, seltener groß und blumenkronenartig gefärbt sind wie bei Osterluzei, dem Seidelbast und vielen Monokotylen. In weitaus den zahlreichsten Fällen, und zwar bei den höheren Formen stets, ist die Blütenhülle doppelt und besteht aus folgenden Bestandteilen: 1. aus einem untern äußern Kreise, Kelch genannt, aus grünen, derberen und gewöhnlich kleineren, mit breiter Basis aufsitzenden Blättern gebildet, und 2. aus einem oberen inneren, als Blumenkrone bezeich-

Digitized by Google

neten Kranze von zarten und größeren, nicht mehr grünen, sondern zur möglichst ausgiebigen Anlockung der verschiedenen Tiere, besonders beflügelter Insekten, welche die Pollenübertragung vorzunehmen haben und dies viel sicherer besorgen als der unzuverlässige Wind, immer auffallend gefärbten, an der Basis meist verschmälerten, oft deutlich gestielten Blättern. Es kommt aber auch vor, daß der Kelch blumenkronenartig, korollinisch, entwickelt ist, wie beispielsweise bei der Nieswurz, dem Sturmhut und andern Ranunkulaceen, wobei dann die Blumenblätter oft klein und unscheinbar oder zum Zwecke der Insektenanlockung in Zuckersäfte, sogenannten Blütenhonig, absondernde Nektarien umgewandelt werden, wie bei diesen soeben genannten Ranun-



Fig. 190. Ein Pollenkorn der Kiefer mit zwei seitlichen Luftsäcken zur Erleichterung des Lufttransportes durch den Wind. (Stark vergrößert.)

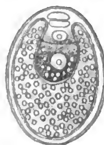


Fig. 191. Pollenkorn der Lärche mit Anlage des Pollenschlauches und rudimentärem männlichen Prothallium. (400fach vergrößert.)

kulaceen. In andern Fällen tritt auch an Stelle des Kelches ein Kranz von Haaren auf zur späteren Ausstreuung der Samen durch den Wind, als Pappus vieler Kompositen und mancher Cypergräser, wie dem Wollgrase. Bei den Nymphaeaceen oder Wasserrosen findet in höchst altertümlicher, die genetische Herkunft der Blumenblätter deutlich illustrierender Weise unter den zahlreichen Blättern der Blütenhülle ein ganz allmählicher Übergang von kelchartig entwickelten durch eigentliche Blumenblätter bis zu richtigen Staubblättern hin statt. Und zwar treten alle Blätter der Blütenhülle bei ihrer Entstehung wie die Laubblätter als kleine Zellenhöcker aus der Blütenachse hervor.

Oberhalb, d. h. bei der stets eintretenden Verkürzung des Blütensprosses innerhalb der Blütenhülle bilden sich, ebenfalls wie die Laub- und Hüllblätter als kleine Zellgewebshöcker aus der Achse hervortretend, die Staubblätter, gewöhnlich in einen oberen stärkeren Teil, den Staubbeutel, Anthere, und in einen untern schwächern, meist fadenförmigen, oft auch blattartigen, den Staubfaden, Filament, geschieden. Letzterer setzt sich durch die Mitte des Staubbeutels als Connectiv fort und überragt denselben oft noch als verschieden geformtes Anhängsel, wie

Digitized by Google

beispielsweise bei der Einbeere. Die Staubbeutel oder Pollensäcke — die alten Mikrosporangien mit den Mikrosporen — öffnen sich gewöhnlich bei der Pollenreife mit einem Längsrisse, ausnahmsweise durch Klappen wie bei den Lorbeergewächsen oder durch ein Loch auf dem Scheitel wie bei den Nachtschattengewächsen und Erikaceen.

Der Fruchtknoten entsteht durch seitliches Verwachsen der einzelnen Fruchtblätter, die noch bei den Nacktsamigen, z. B. den Koniferen, offen über- und nebeneinander lagen, als schützende Hülle, eine Art Kapsel, um die verschiedenen Eianlagen. Der oberständige Fruchtknoten entsteht aus den oberhalb der Einfügung der letzten Staubgefäße zusammenwachsenden Carpellen oder Fruchtblättern, wobei dann die Blütenhüllen und Staubgefäße unterständig, hypogynisch, sind. Unterständig nennt man dagegen den Fruchtknoten, wenn seine Wand durch den ausgehöhlten Blütenboden selbst gebildet wird, in welchem Falle nach Anlage der Fruchtblätter, die sich ebenfalls als kleine Zellgewebshöcker über die verkürzte Sproßachse erheben, sämtliche peripheren Blütenteile durch sogenanntes interkalares Wachstum einer Ringzone der dieselben tragenden Blütenachse emporgetragen. Die nur langsam wachsende Scheitelregion der Blüte wird infolgedessen eingesenkt, die Carpellblätter decken die zur Fruchtknotenhöhle werdende Höhlung der Blütenachse von oben her zu und wachsen zu den frei emporragenden Griffeln mit den Narben aus. Die Blütenhüllen selbst sind dann oberständige oder epigynische.



Fig. 192. Altertümliches Staubblatt von Unona, das den Blattursprung dieses Organs noch deutlich zeigt. Es ist dies der älteste Typus des phanerogamen Sporocarps, wie er noch in der Familie der Polycarpicae bis auf den heutigen Tag ausgebildet wird.

Erhebt sich auf dem Scheitel der Blütenachse als Schlußgebilde desselben nur ein einziges Fruchtblatt, dessen Ränder sich infolge konkaver Einrollung der Oberfläche aneinanderlegen und verschmelzen, so bezeichnet man einen solchen Fruchtknoten als monomer. Einen solchen haben die Schmetterlingsblütler und Hahnenfußgewächse. Verwachsen jedoch in einer Blüte zwei oder mehrere in einen Wirtel gestellte Fruchtblätter zu einem einzigen Fruchtknoten, so bezeichnet man einen solchen als polymer oder syncarp. Findet die Vereinigung

Digitized by Google

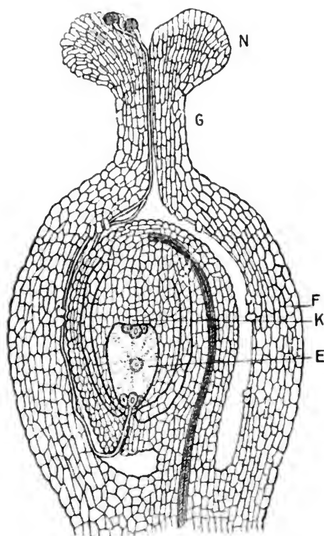


Fig. 193. Schematischer Durchschnitt durch den Fruchtknoten und den Griffel einer anatropen, d. h. mit nach unten gekehrtem Archegoniumhalse versehenen Samenknospe im Augenblicke der Befruchtung. Auf der Narbe N haben zwei Pollenkörner ihre Schläuche getrieben; einer derselben ist durch die Griffel- und Fruchtknotenhöhle zur Mykropyle, d. h. dem Archegoniumhalse gelangt und überträgt seinen Spermakern auf den gereiften Eikern. Im Archegonium der Embryosack E, bestehend aus 7 Zellen: am Außenpole die Eizelle mit den beiden Synergiden oder Gehilfinnen, in der Mitte die Embryosackzelle und am Innenpole die drei Antipoden- oder Gegenfüßlerzellen. K Knospenkern mit den beiden Integumenten oder Hüllen, F Fruchtknoten, G Griffel.

nur an den wenig nach innen vorspringenden Rändern statt, so bleibt der Fruchtknoten einfächerig wie beim Veilchen; treten hingegen die Ränder der Fruchtblätter weiter nach innen vor, ohne jedoch in der Mitte zusammenzuschließen, so ist er mehrkammerig wie beim Mohn. Mehrfächerig wird er erst, wenn die Fruchtblattränder in der Mitte miteinander verwachsen wie bei der Lilie.

Verlängern sich die Fruchtblätter zu einem verschieden gestalteten, meist fadenförmigen Fortsatze, so wird er als Griffel bezeichnet. Wird der Fruchtknoten nur aus einem einzigen Carpelle gebildet, so ist auch nur ein einziger, manchmal verzweigter Griffel vorhanden. Auch beim polymeren, aus mehreren Fruchtblättern entstandenen Fruchtknoten kann durch Verschmelzung der Karpellspitzen ein einziger Griffel entstehen; oder es sind so viele, meist im untern Teile noch verwachsene Griffel gebildet als Fruchtblätter vorhanden sind. Durch starkes Wachstum des oberen Fruchtknotenteiles kann der ursprünglich endständige Griffel auch seitwärts zu stehen kommen, wie bei den Erdbeeren, oder gar bis

Digitized by Google

zur Basis der Fruchtblätter verschoben werden, wie bei den Lippenblütlern und Borretschgewächsen.

In vielen Fällen ist der Griffel von einer engen, in die Fruchtknotenhöhle mündenden Höhlung, dem Griffelkanal, wie beim Veilchen und den Lilien, durchzogen; oder er ist anfänglich hohl und wird später von einer lockeren Zellgewebswucherung seiner Innenwand, wie beim Gauchheil, Anagallis, erfüllt, oder aber diese als leitendes Gewebe bezeichnete Ausfüllung tritt von Anfang an entweder im ganzen Griffel oder nur im oberen Teile desselben auf. Griffelkanal wie leitendes Gewebe dienen den zur Befruchtung bestimmten Pollenschläuchen als Leiter in die, wie bereits gesagt, aus 7 Zellen bestehende Eianlage im Archegonium. Der obere, für die Aufnahme des Pollens bestimmte und zum leichteren Auffangen desselben verbreiterte oder sonstwie umgestaltete Teil des Griffels, die Narbe, ist ein drüsiges, mit zarten Papillen oder Haaren bedecktes Organ, das zur Zeit der Bestäubung ein klebriges, zuckerhaltiges Sekret absondert, welches samt den bei vielen Pflanzen aus quellenden Membranschichten der Narbenpapillen hervorgehenden Schleimmassen einmal zur Festhaltung des Pollens, dann aber auch für das leichtere Hervortreiben der von ihnen entwickelten Pollenschläuche bestimmt ist.

Die auf die Narbe gelangenden Pollenkörner treiben auf dieser alsbald ihre Pollenschläuche in der Weise, daß die Intine an den durch die Öffnungen oder dünneren Stellen der Exine vorgezeichneten Orten als Papille hervortritt, die sich mehr und mehr zum langen, zylindrischen Schlauche verlängert. Da zur Befruchtung jeder Samenknospe des Fruchtknotens ein Pollenschlauch gehört, so müssen bei zahlreichen Samenknospen auch zahlreiche Pollenzellen auf der Narbe ihre Schläuche entwickeln. Von der Narbe aus wachsen letztere in oft mit bloßem Auge sichtbaren Bündeln, von den Zellen des Griffelkanals oder des leitenden Gewebes angezogen und reich ernährt, dem im Embryosacke, dem rudimentären Prothallium der Kryptogamen, eingebetteten Ei entgegen, dringen zuletzt durch die von den Integumenten freigelassene Mikropyle, und gelangen so zu der am nächstliegenden Pole des Embryosacks gelegenen, von den beiden Gehilfinnen, den Synergiden, bedeckten Eizelle, um sie zu befruchten. Und zwar befinden sich nach den wichtigen neuesten Untersuchungen des Russen Nawaschin, des Japaners Shibata und des Franzosen Guignard, welch letzterer diese Verhältnisse hauptsächlich bei den Kruziferen oder Kreuzblütlern feststellte, außer dem die Eizelle befruchtenden Sperma-

oder Samenkern noch ein weiterer Kern an der Spitze des gegen den (aus dem Prothallium der niederen Pflanzen entstandenen) Embryosack wachsenden Pollenschlauches, der dazu dient, den Embryosackkern zu befruchten, damit aus ihm das vielzellige Endosperm hervorgehe. Es findet also bei den höheren Pflanzen gleichsam eine doppelte Befruchtung statt, indem neben der eigentlichen Befruchtung, der Verschmelzung des Spermakerns mit dem Eikern, auch noch der Embryosackkern befruchtet wird. Eine Eiweißbildung im Embryosacke tritt dann bei den Angiospermen nicht mehr vor der Befruchtung, wie bei den Gymnospermen, sondern erst nach derselben ein.

Die Zeit, welche der Pollenschlauch zum Durchwachsen des Griffels bis zum Eintritt in die Mikropyle der Samenknospe gebraucht, ist eine sehr verschiedene und steht durchaus nicht immer in geradem Verhältnis zur Griffellänge. So gebrauchen die Pollenschläuche des gefleckten Arons bei kaum 3 mm langem Griffel gewöhnlich 5 Tage, die von Crocus bei einer Griffellänge bis zu 10 cm nur 1–3 Tage, die der sehr haltbare Blüten erzeugenden Orchideen oft einige Monate, um zu der Samenknospe zu gelangen. Und auch nach dem Eintreffen des Pollenschlauches im Embryosacke und vollzogener Befruchtung vergeht oft noch lange Zeit, ehe das Ei die Entwicklung zum Embryo beginnt, so bei Eiche, Buche und Walnuß einige Tage bis Wochen, bei der Herbstzeitlose etwa sechs Monate und bei den Eichenarten mit zweijähriger Samenreife fast ein Jahr. Zugleich mit der Ausbildung des Embryos entwickelt sich das hauptsächlich aus Sameneiweiß bestehende Endosperm als ein den Embryo umhüllendes Nährstoffgewebe, von dessen Inhalte er bei der Keimung zunächst zu leben hat. Nur ausnahmsweise wird, wie bei den Kreuzblütlern, das Endosperm noch vor der Keimung durch den Embryo aufgesaugt, oder das zuerst angelegte Endosperm wird, wie bei den Bohnenarten, bei der weiteren Ausbildung des Embryos resorbiert und wandert in die fleischigen Cotyledonen ein, so daß der Same eiweißlos ist; oder die Eiweißbildung ist überhaupt ganz rudimentär wie bei den Orchideen, den


Fig. 194. Keimendes Pollenkorn eines Kürbis mit präformierten, von deckelartigen Gebilden geschlossenen Austrittsöffnungen für den austreibenden Pollenschlauch, der wiederum zwei Kerne, den generativen und vegetativen Kern besitzt. (350fach vergrößert.)

Digitized by Google

Nixenkräutern und Froschlöffelgewächsen, oder unterbleibt ganz wie bei Canna.

All die wunderbar mannigfaltigen Formen der Angiospermen, die erst von der Tertiärzeit an das Landschaftsbild der Erde zu beherrschen begannen und in der Folge die altmodischen, für den Kampf ums Dasein so sehr viel schlechter eingerichteten niedrigen Pflanzen immer vollständiger zurückdrängten, ist, wie bereits kurz erwähnt, zur Kreidezeit aus zwitterig gewordenen gymnospermen Formen hervorgegangen, welche damals die höchsten Pflanzentypen bildeten. Dieses Zwitterigwerden wird heute noch gelegentlich bei 12 verschiedenen Tannenarten beobachtet, indem am gleichen Fruchtzapfen in der oberen Hälfte gegen die Spitze zu weibliche (Makro-) Sporangien und in der untern basalen männliche (Mikro-)Sporangien gebildet werden. Diese früher als bedeutungslose Mißbildung aufgefaßte Erscheinung ist ein hochbedeutsamer Hinweis darauf, auf welche Weise die verschiedenhäufigen Fruchtstände der Gymnospermen wie einst, so auch heute noch die Neigung zu Zwitterigkeit haben. Nur wurde im Laufe der Zeit die lange Achse des Blütenzapfens immer mehr zur zyklisch d. h. in Kreisen gebauten Blüte der Angiospermen verkürzt. Heute noch lassen sich die verschiedensten Übergänge einer solchen Verkürzung der Sproßachse des Blütenstandes nachweisen, die mit der Reduktion der Staub- und Fruchtblätter Hand in Hand ging, bis zuletzt von den außerordentlich vielen Staubblättern nur noch ein einziger und von den ebenfalls zahlreichen Fruchtknoten auch nur noch ein einziger bei der Blütenbildung zur Verwendung gelangte. Doch verbietet uns der Raum, näher darauf einzugehen.

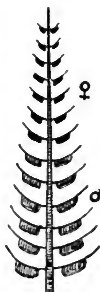


Fig. 195. Zwitteriger Fruchtstand einer Gymnosperme mit weiblichen Sporangien an der oberen und männlichen an der unteren Hälfte (schematisch zur Erklärung der Entstehung des Fruchtstandes der Angiospermen).

Wir wollen nur noch in Kürze bemerken, daß, sobald einmal Zwitterblüten bei den Gymnospermen ausgebildet waren, die Mitwirkung der Insekten zur Übertragung der Mikrosporen auf die Makrospore sich ganz von selbst gab; holen doch schon bei den fruchtenden Cycadeen, deren Pollen sonst ausschließlich durch den Wind von einer männlichen zu einer weiblichen Pflanze übertragen wird, was um so leichter

Digitized by Google

geschieht als alle diese windblütigen Gymnospermen in dichten Beständen gesellig beieinander leben, die nach dieser eiweißreichen Speise gierigen, von vegetabilischer Nahrung lebenden geflügelten Insekten den Pollen. So haben sich im Laufe der Kreidezeit jene wunderbaren Wechselbeziehungen zwischen Insekten und blühenden Pflanzen auszubilden begonnen, wodurch in der Folgezeit durch Vermittlung von Bienen, Hummeln und Schmetterlingen sich jene entzückend gefärbten, wohlriechenden Blütenstände, die Blumen entwickelt, deren Schönheit und Duft uns Menschen zwar ergötzt, aber nicht für uns, sondern für die geflügelten Kunden, die postillons d'amour, aus der Insektenwelt geschaffen wurden.

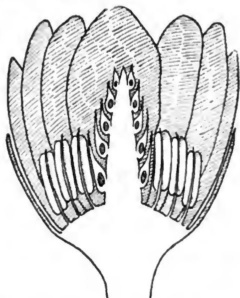


Fig. 196. Durchschnitt durch die Blüte einer Magnolie als Typus einer altertümlichen Blüte der Polycarpicaeform. In einer Spirale folgen sich allmählich ineinander übergehend zahlreiche Kelch-, Blumen-, Pollen- und Fruchtblätter auf derselben, in den untern Abschnitten stark verkürzten Blütenachse.

Sobald einmal die Pflanze den Vorteil der Tierbestäubung gegen die ältere, noch während der ganzen mesozoischen Zeit herrschenden Windbestäubung erkannt hatte, die ihrerseits als wichtiger Fortschritt einst am Ende der paläozoischen Zeit die bis dahin allein übliche Befruchtung der Eizelle durch sich aktiv durch das Wasser auf den chemotaktischen, vom Archegoniumhalse ausgehenden Reiz hinbewegenden Spermatozoiden abgelöst hatte, ging sie immer mehr ganz dazu über und paßte zu diesem Zwecke die verschiedenen Organe der Blüte völlig dem Insektenbesuche an. Diese höchst zweckmäßige Entomophilie oder Insektenfreundschaft hat dann alle sekundären Umwandlungen der Blüte, die uns bei den Angiospermen in solch unglaublicher Mannigfaltigkeit entgegentreten, hervorgerufen.

Unter allen Angiospermen weist die große Gruppe der Polycarpicae oder Vielfrüchtler die altertümlichsten, und unter diesen speziell die Familie der Magnoliaceen die allerursprünglichsten Formen auf. So hat mit Recht Dr. Hallier in Hamburg in einer im Jahre 1901 publizierten wichtigen Arbeit diese Magnoliaceen an die Basis des Angiospermenstammbaums gestellt. Die Vertreter dieser

Digitized by Google

Pflanzenfamilie haben am besten von allen heute noch lebenden Pflanzen den Typus der Urangiosperme bewahrt. Es sind Sträucher oder Bäume, die folgende höchst altertümliche Merkmale aufweisen: Die Blätter sind stets überaus einfach und ungegliedert, mit zwei hinfälligen kleinen Nebenblättern versehen und noch nicht wechselständig; die Blüte ist ganz undifferenziert, azyklisch, in einer Spirale gehen allmählich die zahlreichen Kelchblätter in Blumen-, Pollen- und Fruchtblätter höchst einfachen Baues über, die Perianthblätter sind bescheiden gefärbt, meist weiß und in drei Kreisen angeordnet. Der Same ist groß und höchst primitiv gebaut mit einem merkwürdig kleinen Keimling und reichem Endospermvorrat; noch bei zwei Gattungen, worunter sich auch der den Magnolien sehr nahe verwandte, ebenfalls in Ostasien einheimische, bis 10 m hohe, immergrüne Sternanisbaum Illicium mit ebenfalls weißen Blüten befindet, werden wie bei den altmodischen Nacktsamern im sekundären Holz keine Gefäße ausgebildet, alles altertümliche Erscheinungen, die sonst von den Angiospermen vollkommen überwunden wurden. Als ebenfalls äußerst primitives Merkmal ist die Sproßachse ihrer Blüten verhältnismäßig noch wenig verkürzt und gleicht noch bedeutend dem Fruchtstande der Nacktsamigen, nur daß sie in der Regel zwitterig ist. Schon zur oberen Kreidezeit wiesen die Magnolien Formen auf mit ebenso hoch wie heute entwickelten Blüten, die bereits auf die ausschließliche Mithilfe von Insekten bei der Bestäubung hinweisen. Die Mitglieder dieser Familie haben es also in dieser langen Spanne Zeit von weit über 13 Millionen Jahren in dieser Beziehung nicht weiter gebracht; denn noch immer weisen sie die einfachste und ursprünglichste Art der Insektenanlockung auf, nämlich nicht Honigsaft, sondern den reichlich produzierten und durch klebrige Öle zusammengehaltenen Pollen selbst den Insekten, die ihre Blüten befruchten sollen, anzubieten. Alle diese Pollenblumen sind vorzugsweise weiß oder gelb, wie außer den Magnolien viele Anemonen, Hollunder und Schöllkraut; seltener sind sie rot, wie der Klatschmohn, lila, wie Wiesenraute und Bittersüß, oder blau, wie das Leberblümchen. Bei ihnen stellen sich kurzrüsselige Bienen und dumme Schwebefliegen ein. Eine Stufe weiter sind jene Pollenblumen gegangen, welche zweierlei Staubblätter erzeugen: 1. Beköstigungsantheren, deren Pollen nur für die Ernährung der sie besuchenden Insekten erzeugt wird, und 2. Befruchtungsantheren, deren Blütenstaub nur für die Bestäubung dient. Bei einigen zu den Leguminosen oder Hülsenfrüchtlern gehörenden Cassiaarten sind erstere

Digitized by Google

kurz und letztere lang, damit sie ihren Inhalt leichter an das besuchende Insekt anheften können. So wird der Körper des letzteren ausschließlich vom Befruchtungspollen bestäubt. Bei den Melastomeen, von denen eine nicht geringe Anzahl als prachtvolle Zierpflanzen unserer Warmhäuser gehalten werden, sind beide Arten von Staubblättern auch durch die Färbung unterschieden, und zwar sind die Beköstigungsstaubblätter gewöhnlich sehr lebhaft, besonders grellgelb, d. h. mit der Lieblingsfarbe der pollenfressenden Insekten gefärbt, so daß sie diesen sofort auffallen und sie sich direkt auf sie losstürzen, während die Befruchtungsstaubblätter wie die Blumenblätter einfach und bescheiden in der Färbung gehalten sind.

Einen noch fortschrittlicheren Weg schlugen die übrigen Angiospermen ein, die die Insekten durch Ausscheidung zuckerhaltiger, meist auch



Fig. 197. Fruchtknoten der Umbelliferenblüte mit dem Discus d, auf welchem der Honig für die Fliegen frei ausgeschieden wird.

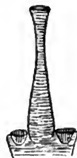


Fig. 198. Fruchtknoten der Cruciferenblüte mit halbgeborgenen Honigbehältern

wohlriechender Säfte, Nektar oder Blütenhonig genannt, vom Pollen abzulenken suchen. Dieser Nektar wird von besonderen Drüsengebilden, sog. Nektarien, abgesondert, deren Lage stets eine solche ist, daß die die Blüte besuchenden Insekten mit Antheren und Narben in Berührung kommen müssen, um zu ihnen zu gelangen. Dabei lassen sich alle Übergänge feststellen. Zunächst entstanden Blüten mit wenig und freiliegendem Nektar, deren Öffnung durch Nachabwärtsneigen der Blüte so zu liegen kam, daß ihn auch der fallende Regen nicht fortschwemmen konnte. Diese Blüten sind auch noch, wie die primitiven Pollenblumen, mit den ältesten Blütenfarben Weiß, Grüngelb oder Gelb gefärbt, so weiß bei den Doldenblütlern, bei denen der Honig auf einem besonderen Gestell, Discus genannt, auf dem Fruchtknoten abgesondert wird, und beim Studentenröschen, grüngelb bei der Stechpalme und den verschiedensten Wolfsmilcharten. Diese Blumen

Digitized by Google

werden von allen möglichen Insekten besucht, die der süße, duftende Honig anlockt, nur nicht von den anspruchsvollen Bienen, denen das bißchen Nektar, das sie darbieten, zu wenig ist, als daß sich ein Besuch derselben für sie lohnte.

Etwas weiter in der Vervollkommnung sind die Blüten gelangt, in denen der Honig halb geborgen ist. Der verführerische Zuckersaft ist bei ihnen nur bei sehr hellem Sonnenschein sichtbar; denn er liegt zumeist tief unten in der Blüte versteckt. Es können also bei trübem Wetter nur intelligentere Insekten zu ihm gelangen. Zu ihnen gehören alle Kreuzblütler, die den Honig an Discusauswüchsen absondern und von Insekten mit mittlerer Rüssellänge besucht werden. Weiter gelangen wir zu den Blüten mit geborgenem Honig, deren Nektarien durch Haare oder durch eine besondere Gestaltung der Blüte verdeckt sind, so daß sie den Insekten nie sichtbar werden, z. B. bei Küchenschelle, Trollius, Geranium und Malve. Während bis dahin alle Blüten aktinomorph, d. h. regelmäßig in Kreisen gebaut waren, so daß sie von verschiedenen Seiten in zwei einander entsprechende Hälften geteilt werden können, beginnt sich in diesem Stadium bereits andeutungsweise eine Zygomorphie auszubilden, bei welcher diese gleichmäßige Teilung derselben nur in einer Richtung vorgenommen werden kann, wie beispielsweise bei Veronica, Euphrasia (Augentrost), Thymian, Minze und verschiedenen Orchideen. Hier sind die Farben Weiß und Gelb verschwunden, dafür treten Rot, Violett und Blau auf. Die Besucher derselben sind alle langrüsselige, intelligentere Formen, besonders Bienen mit einem 6 mm langem Rüssel, als die Fliegen, Hummeln und Falter. Schon bei ihnen kann eine bestimmte Blüte an ein bestimmtes Insekt angepaßt sein, was bis dahin noch nie der Fall war.

Weiterhin können sich die Blüten nach besonderen Richtungen entwickeln. Es bilden sich zunächst Blumengesellschaften, indem sich eine größere Zahl kleiner Einzelblüten zu einem Blütenstande vereinigen, wie bei den Kompositen und Disteln. Die weißen und gelben unter denselben haben den Nektar nur halb geborgen, weshalb sie auch von kurzrüsseligen, wenig intelligenten Insekten besucht werden. Die roten, violetten und blauen Blüten tragen den Honig völlig geborgen und werden von langrüsseligen, intelligenten Insekten besucht. Diese Farben stellen also jüngere Formen dar, während die weißen und gelben die ursprünglicheren sind. Dann unterscheiden wir eine große Gruppe von Immenblumen, die nur von langrüsseligen Hautflüglern beflogen werden. Sie sind meist rot, violett oder blau

Digitized by Google

gefärbt und weisen schon sehr häufig spezielle Anpassungen an gewisse Insekten auf. Hieher gehören die meisten zygomorphen Blüten, wie die Schmetterlingsblütler und Veilchengewächse. Auf dieser Stufe hat jede Blüte bereits einen engern Kreis von Kunden, die sie regelmäßig besuchen. So unterscheidet man eigentliche Bienenblumen, wie die meisten Schmetterlingsblütler, wie z. B. der kriechende Klee, viele Lippenblütler (Labiaten) und Rachenblütler (Scrophulariaceen); weiter Hummelblumen speziell an Hummeln angepaßt, die einen etwas längeren Rüssel als die Bienen haben, z. B. Wiesenklee, Wiesensalbei, Eisenhut; dann Bienen-Hummelblumen, wie der Bergthymian; ferner Wespenblumen, wie die in feuchten Wäldern häufige Braunwurz, Scrophularia nodosa, und schwarze Heckenkirsche, Lonicera nigra, und endlich Schlupfwespenblumen, wie das Zweiblatt, Listera ovata, jene bekannte Orchidee unserer Heimat. Sehr oft ist bei allen diesen zwischen der Blume und der Färbung der betreffenden besuchenden Insekten eine auffallende Übereinstimmung zu bemerken, und, damit das anfliegende Insekt während seines Besuches gut ruhen könne, ist die Unterlippe stets zu einem bequemen Sitzbrette von einer dem Gaste entsprechenden Gestaltung umgewandelt.

Eine höhere Potenz der Immenblumen sind die Falterblumen, alle streng zygomorph gebaut, mit langer Kronröhre oder einer seitlichen, als Sporn ausgebildeten Aussackung. Die Falten haben als regelmäßige Blumenbesucher ihren Rüssel den ihnen angepaßten, mit einem immer weiter ausgezogenen Sporne, an dessen Ende der sonst keinem andern Tiere zugängliche Nektar ruht, versehenen Blüten entsprechend verlängert. Dies kann soweit gehen, daß sich in den Tropen röhrige Blüten bildeten, denen zu Liebe die speziellen sie besuchenden Gastfalter einen bis zu 25 cm langen Rüssel erwarben. Bei uns kommen die Falterblumen besonders im Hochgebirge vor, wo die Schmetterlinge weit mehr an der Befruchtung der Blüten beteiligt sind als die Bienen. Während letztere im Tieflande die Hälfte aller Blumenbesucher ausmachen, sind sie unter denselben in den Vorbergen bloß noch zu einem Viertel und im eigentlichen Hochgebirge nur zu einem Fünftel vorhanden. Die Biene schwindet deshalb bald in der Höhe, weil sie im rauhen Gebirgsklima die Bedingungen für den Wabenbau nicht mehr findet. Die Hummel hingegen, die sich ihr Nest tief in den Boden eingräbt, vermag auch dort noch zu widerstehen. Von allen Insekten sind aber hier die Falter am zahlreichsten vertreten, die im Hochgebirge etwa sechsmal so stark an der Bestäubung der Blumen beteiligt sind

Digitized by Google

als im Tale. Ihre Verbreitung wird dort namentlich durch die Seltenheit der Singvögel, ihrer hauptsächlichsten Feinde, sehr begünstigt.

Mit steigender Höhe nimmt nicht nur das würzige Aroma der Pflanze, sondern auch die Größe und Farbenpracht der von ihr erzeugten Blüten zu. Diese auffallende Schönheit der Gebirgsflora, bei der die kräftigen Nüancen Rot, Violett und Blau als den Schmetterlingen besonders angenehm vorherrschen, ist vor allem das Produkt der durch die Falter vorgenommenen natürlichen Zuchtwahl. Während also die Falter vorzugsweise so gefärbte Blumen besuchen, befliegen die Hummeln und Bienen auch gerne dunkelgelbe Blumen, während die plebejischen Fliegen durch hellgelbe und weiße Blumen angezogen werden. So kann, da die letzteren ihren Besuch bis zur Schneegrenze ausdehnen, sogar am Gletscherrande der gelbe und weiße Steinbrech gedeihen.

Im Gegensatz zu den leuchtend gefärbten Tagfalterblumen, zu denen die meisten Primeln, Nelken und Orchideen gehören, die auch sehr oft ganz bestimmte, ihnen entsprechend gefärbte Besucher haben — eine solche Schutzform ist beispielsweise der der gelben Primelblüte angepaßte Zitronenfalter — stehen die weiß oder weißlich gefärbten und so in der Dämmerung leicht sichtbaren Nachtfalterblumen, wie beispielsweise die weiße Lichtnelke und das Geißblatt, die sich überhaupt erst mit Anbruch der Dunkelheit öffnen und als Lockmittel einen sehr starken, oft geradezu betäubenden Geruch von sich geben, um die von ihnen erwarteten Gäste, vornehmlich Schwärmer, an sich zu locken.

Wie wir Menschen 100 m weit den Duft der blühenden Linde und Weinrebe riechen, so riechen die Bienen mit ihrem in den Fühlern sitzenden Geruchsorgan die für uns duftlosen Blüten der Ampelopsis, des wilden Weins, schon aus einer Entfernung in der sie diese Blüten niemals durch den Gesichtssinn warzunehmen vermöchten. Auf mehrere hundert Meter riecht der Windlingsschwärmer den abends in verstärktem Maße von der Geißblattblüte ausströmenden Duft und schwirrt in gerader Richtung auf sie zu, wie kleine Nachtschmetterlinge auf die kleine Lichtnelke zueilen, wenn diese, die tagsüber keinen Duft von sich gibt, mit beginnender Dämmerung ihren starken Hyazinthenduft aushaucht.

Dabei ist das Zusammentreffen der Entwicklung des Blütenduftes mit der Flugzeit der betreffenden Insekten, welche die Bestäubung vornehmen sollen, überaus merkwürdig. So spenden die gelben Blüten

Digitized by Google

des Besenstrauches ihren köstlichen Akazienduft nur dann, wenn die Sonne hoch am Himmel steht und die an sie angepaßten geflügelten Kerfe nach Honig lüstern durch die warme, mit Wohlgerüchen durchströmte Luft fliegen. Abends und nachts ist dann keine Spur des Duftes mehr an ihnen wahrzunehmen. Das wäre ja für die Pflanze ein ganz unnötiger Luxus, den sie bei ihrem sparsamen, ökonomischen Haushalte stets zu vermeiden sucht. Ganz so ist es mit den meisten am Tage besuchten wohlriechenden Blüten. Auch der zierliche Klee, dessen im Sonnenscheine von vielen Bienen oder Hummeln umsummten Blüten stark nach Honig duften, wird vollkommen duftlos, sobald mit beginnender Dämmerung diese Hautflügler sich in ihre Baue zurückziehen, um an warmem, geschütztem Orte von des langen Tages angestrengter Arbeit auszuruhen. So werden gleicherweise Seidelbast, Studentenröschen und zahllose andere, die nur im warmen Sonnenschein, während die betreffenden Insektenkunden fliegen, nach Honig duften, abends duftlos.



Fig. 199. Blütenstand des nickenden Leinkrautes, Silene nutans, am Tage geschlossen und geruchlos, nachts geöffnet und stark duftend; eine Blüte eben vom Nachtfalter Dianthoecia albimacula besucht.

Umgekehrt entwickeln alle auf die Befruchtung durch Nachtschmetterlinge und -insekten angewiesenen Pflanzen, die tagsüber nur sehr schwach oder gar nicht duften, erst beim Eintritt der Dämmerung bis gegen Mitternacht die intensivsten Wohlgerüche, wie die verschiedenen Petunien, die Trauer- und Nachtviole, die dunkelblütige Pelargonie, eine Verwandte des Waldmeisters und zahlreiche Nelkenarten, die von bestimmten kleinen Nachtfaltern befruchtet werden. Dabei findet sehr oft eine Art Ergänzung oder Stellvertretung zwischen Farbe und Duft zur Anlockung der betreffenden geflügelten Insekten statt. Während zahlreiche grell gefärbte Blüten, die nur tagsüber befruchtet werden können, infolge ihres Gutgesehenwerdens des für sie unnötigen

Digitized by Google

Duftes entbehren, da sie auch ohne einen solchen von den geflügelten Gästen gerne beflogen werden, sind andere ganz unscheinbar gefärbte oder eines Schauapparates völlig entbehrende Blumen durch besonders starke Duftausströmungen ausgezeichnet, um trotzdem leicht von ihren Besuchern gefunden werden zu können. Letzteres ist begreiflicherweise bei den Nachtfalterblumen die Regel. Manche Pflanzen suchen aber sowohl am Tage als während der Nacht Gäste anzulocken. Solche sind z. B. der Frühlingskrokus und der gesprenkelte Türkenbund unserer Bergwälder, welche gewisse Tagfalter durch ihre Farbe und spezielle Nachtschmetterlinge, die ihnen ebenso willkommen sind, durch ihren Geruch anziehen. So besitzt die Pflanze einen doppelten Vorteil, um sich eine Befruchtung ihrer Blüten auf alle Fälle zu sichern.

Daß zahlreiche Blüten sowohl auffallend gefärbt, als auch wohlriechend sind, das hat darin seinen Grund, daß die Farben hauptsächlich in die Ferne, die Wohlgerüche aber in die Nähe wirken sollen. Wie durch zahlreiche eingehende Versuche an Bienen, Hummeln und Faltern festgestellt wurde, dienen die Farben vorzugsweise dazu, sich den betreffenden zur Befruchtung der Blüte dienenden Gästen schon in möglichst weiter Ferne bemerkbar zu machen und wenn sie durch dieses leuchtende „Wirtshausschild" angelockt erscheinen, soll der den Tieren angenehme Duft sie vollends in den Bannkreis der betreffenden Blüte ziehen und das willkommene Labe spendende „Wirtshäuschen" mit seinen einladenden Auslagen und dem bequemen Sitze zum Ruhen um so leichter auffinden lassen. So ist überall in der Natur die höchste Zweckmäßigkeit angestrebt.

Bei dieser Sachlage ist es wohl vollkommen überflüssig, hier auch noch zu bemerken, daß die Blüten ihre zauberhafte Farbenpracht und ihren berückenden Wohlgeruch allein der die Befruchtung besorgenden Insekten, und nicht uns Menschen wegen ausgebildet haben. Sie strahlten bereits in sonntäglicher Schönheit und dufteten mit allen nur erdenkbaren Düften als noch kein denkender und diese Schönheiten auch nur einigermaßen zu schätzen und zu würdigen vermögender Mensch auf Erden lebte, als der Menschenvorfahr noch als Affe vorwiegend von Pflanzennahrung lebend auf den Bäumen hauste und sich nicht im mindesten um schöne Blumen, wohl aber um schmackhafte Früchte, die ihm zur Sättigung zu dienen vermochten, bekümmerte.

Im Gegensatz zu den intelligenten Bienen, Hummeln und Faltern stehen die meist recht einfältigen Fliegen, denen sich ebenfalls eine große Zahl von Pflanzen angepaßt hat. Unter diesen Fliegenblumen

Digitized by Google

unterscheiden wir zunächst Ekelblumen, welche Düfte von sich geben, die bald an faulendes Fleisch, in Zersetzung begriffenen Harn, an Jauche, Kot und andere unappetitliche Dinge erinnern. Zu ihnen gehören die Blütenstände zahlreicher Aroideen, sämtlicher Stapelien, Rafflesiaceen und anderer Tropengewächse, deren Blüten zudem auch noch in ihrer Färbung an tierische Kadaver gemahnen, um desto sicherer die nach solchen Dingen zur Ablegung ihrer Brut fahndenden Aasfliegen und Aaskäfer an sich zu locken. In unserer einheimischen Flora gehören dazu auch beispielsweise der Frauenmantel und verschiedene Steinbrecharten, die gesprenkelte gelbliche oder weißliche Blumen besitzen, oder wie der Efeu des Schauapparates ganz entbehren, dafür aber stark faulig oder aasartig riechen und sich damit diese ihre plebejischen Kunden zur Vollziehung der Befruchtung anlocken. Auch Spierstaude, Traubenkirsche, Weißdorn, Vogelkirsche und viele für uns unangenehm riechende Blüten duften sehr angenehm für die verschiedenen Schmeißfliegen, die ihre besten Befruchter sind. Es können ja nicht alle Blumen wie die Immenblumen nach Honig und Wachs duften und sich damit so vornehme, wählerische Kundschaft, wie die Bienen und Hummeln in ihre Dienste locken oder gar die farbenfrohen Schmetterlinge, die mit hohem Schönheitssinn und einem vorzüglichen Geschmack begabten Aristokraten unter den Insekten, zu ihren gefälligen Vasallen machen.

Wie eine jede Pflanze ihre besonderen Farbensymphonien in die umgebende Außenwelt erstrahlen läßt, so hat sie eben auch ihre besonderen Duftqualitäten. So lassen die vorhin erwähnten Nachtfalterblumen, die sich erst abends öffnen, wenn die sie besuchenden Dämmerungsfalter sich bei ihnen einfinden, stets außerordentlich wirksame, auf unglaubliche Entfernungen hin sich kundgebende benzoloide oder paraffinoide Düfte, wie sie Prof. Anton Kerner von Marilaun genannt hat, ausströmen. Aber nahe verwandte und äußerlich ähnliche Arten geben ganz verschiedene Düfte von sich. Von der Gattung Seidelbast hat beispielsweise Daphne alpina Vanilleduft, Daphne striata und Philippi Fliederduft, Daphne Blagayana endlich Nelkenduft.

Manche Blütendüfte, wie besonders auch die uns angenehm riechenden paraffinoiden, haben zudem die Eigentümlichkeit, daß sie an der Stätte ihres Ursprungs bei weitem weniger als in einiger Entfernung von der Quelle wahrgenommen werden, was sich daraus erklären dürfte, daß auf die von den Blüten entbundenen Riechstoffe bei deren weiteren Verbreitung in die atmosphärische Luft der Sauerstoff

Digitized by Google

und der Wasserdampf einen bedeutenden Einfluß besitzen, indem sich durch sie verschiedenartige molekuläre Umwandlungen in ihnen vollziehen. So riecht beispielsweise die Rebenblüte besonders intensiv auf weite Entfernung hin, desgleichen die Lindenblüte und zahlreiche andere Blüten. Und nicht wenige Blumen, an denen wir mit dem besten Willen keinen besondern Geruch wahrzunehmen vermögen, wittern die betreffenden, sie besuchenden Falter oder Immen schon auf sehr große Entfernungen hin, wie auch die für uns geruchlosen Schmetterlingsweibchen an den von ihnen ausströmenden spezifischen Gerüchen, die für uns Menschen aber vollkommen unerkennbar sind, von ihren Männchen auf hunderte, ja vielleicht tausend Meter Entfernung mit Leichtigkeit gewittert werden. Also müssen diese Insekten ein ganz anderes und sehr viel feineres Geruchsvermögen als wir auch sonst gegenüber den meisten Tieren mit so verhältnismäßig stumpfen Sinnen begabte Menschen besitzen. So riecht beispielsweise der Windlingsschwärmer, Sphinx convolvuli, die allerdings auch für uns in der Nähe bemerkbaren lieblichen indoloiden Düfte der Geißblattblüte noch auf über 300 Schritte Entfernung hin und stürzt sich abends, wenn die betreffenden Blüten ihren angenehmen Duft zu verbreiten beginnen, pfeilschnell und in gerader Richtung auf sie zu.

Für die vorhin erwähnten Ekelblumen, die besonders Aasfliegen anziehen wollen, welche gerne ihre Eier zu ihrer gesicherten Weiterentwicklung in sie reichlich nährende, faulende organische Substanzen, besonders Kot, ablegen, sind die indoloiden Düfte charakteristisch, so genannt nach dem Idol, das neben dem Skatol dem Kote und Aase seinen für unser Empfinden so abstoßenden, ekelhaften spezifischen Geruch verleiht. Sehr zahlreiche Fliegenblumen hauchen aber auch aminoide Düfte aus, so bezeichnet, weil ihnen Amine zu Grunde liegen, d. h. Stoffe, in denen ein, zwei oder alle drei Wasserstoffatome des Ammoniaks durch ein Alkoholradikal ersetzt sind. So ist nachgewiesen, daß der scheußliche, an faulenden Urin erinnernde Geruch des Weißdorns, der sich mit geringen Abweichungen in den Blüten zahlreicher anderer Rosifloren wie beispielsweise des Birnbaums, der Mispel, der Vogelbeeren, der Spierstauden, wie auch des roten Hartriegels, des Schneeballs, der Kastanie, des Hirschholders, der Waldrebe und des Sauerdorns wiederholt, durch die Bildung von Trimethylamin verursacht wird. Die Blüten des Efeus entwickeln einen damit verwandten Geruch, der widerlich nach Heringslake, andere wiederum einen solchen, der durchdringend nach Ammoniak, wie er von den auf

Digitized by Google

dem Lande überall noch anzutreffenden Abtrittgruben wohlbekannt ist, duftet.



Fig. 200. Blüte von Arum conocephaloides, deren vordere Wand entfernt wurde, um das Innere zu zeigen. Zu unterst an den Kolben die Fruchtblätter, darüber die erste Reuse, dann die Pollenblüten und nochmals eine Reuse. Im Grunde des geheizten Kessels zahlreiche Mücken aus der Gattung Ceratopogon, deren Entschlüpfen durch die starren abwärts gerichteten Spitzen der untern Reuse verhindert wird.

Weiter sind unter den Fliegenblumen Kesselfallenblumen wie der gefleckte Aronsstab, die Haselwurz, die Osterluzei und andere mit tütenförmigen Blütenscheiden versehene Pflanzen zu unterscheiden, die durch uns widerlichen, aber den von ihnen als Befruchtungsübermittlern erwünschten Fliegen angenehmen Duft diese Tiere, denen sie über Nacht einen geheizten schützenden Raum als Herberge anbieten, herbeilocken, sie durch aus Haaren gebildete Reusen so lange einsperren, bis sie sich genügend mit dem dann gerade stäubenden Pollen verschmiert haben. Dann erst fallen die steifen Härchen nieder und erlauben den so lange gefangen gehaltenen Insekten, das Gefängnis zu verlassen. Diese suchen nun alsbald eine neue gleiche Blüte auf, um dabei unfreiwillig den mitgebrachten Pollen auf die Narben abzustreifen. Damit eine Selbstbefruchtung durch eigenen Pollen ausgeschlossen werde, sind alle diese Kesselfallenblumen typisch proterogyn, d. h. die Narbe der betreffenden Blume ist bereit, Pollen aufzunehmen, bevor noch die eigenen Antheren solchen liefern.

Bei der Osterluzei senkt sich dann nach vollzogener Befruchtung der zungenförmige Hautlappen, der den Fliegen als bequemes Anflugbrett gedient hatte, über den Eingang der Blüte, so daß keine weiteren mehr Zutritt zu ihr bekommen. Außerdem senkt sich die Blüte so weit nach unten, daß sie vollkommen senkrecht herabhängt und damit schon durch ihre Stellung weiteren, jetzt unwillkommenen Insektenbesuch unmöglich macht.

Außer diesen, große Kessel als Fallgruben benützenden Blumen gibt es aber auch noch raffiniertere Klemmfallenblumen, bei

Digitized by Google

denen nur ein bestimmter Teil der Blüte zum Anheften des Pollens und zur Übertragung desselben auf die Narbe einer anderen Blume der gleichen Art dient. So ist beispielsweise bei den Asklepiadaceen, die meist in Afrika wie die kaktusähnlichen Stapelien und Asclepias vorkommen, in unserer Flora aber durch Vincetoxicum officinale vertreten sind, jede zu einer wachsartigen Masse verklebte Hälfte eines Staubbeutels mit der benachbarten Hälfte des anstoßenden Staubbeutels durch einen hornartigen Klemmkörper verbunden. Damit nun das Insekt, das die Übertragung des Blütenstaubes vornehmen soll, um so sicherer ausgleiten und mit seinen Füßen den Klemmkörper mit den daran haftenden beiden Pollenbeuteln aus seiner Versenkung ziehen muß, ist die Fallengegend von besonders glatten Blütenteilen in Schienenform, die gerade in die Falle führen, umgeben. Kommt nun ein Insekt durch den angenehm riechenden Honigduft angelockt auf die meist weithin sichtbaren Blüten geflogen, um den im Übermaß angebotenen süßen Nektar zu schlürfen, so gleitet ein oder gleiten mehrere seiner Füße unfehlbar an den porzellanartig glatten Partien der Blüte aus und gerät so in die Spalte zwischen den Leitschienen. Indem es sich nun bemüht, den betreffenden Fuß oder die Füße aus der Spalte herauszuziehen, wird dieser dem Spalt entlang nach oben geführt und hakt sich mit unfehlbarer Sicherheit den braunen, hornartigen Klemmkörper mit den beiden Pollenfächern an, um ihn alsbald abzureißen und damit beladen zur nächsten Honig spendenden Blüte gleicher Art zu schleppen. Hier werden die Staubbeutel unwillkürlich beim Honigsaugen unter den Griffelkopf geschoben, wo sich die empfängnisfähigen Narbenstellen befinden, die dann einige Körnchen des Blütenstaubes vermöge ihrer Klebrigkeit vom Pollenbeutel abnehmen, damit diese die Befruchtung vollziehen können.



Fig. 201. 1 Ein Klemmkörper von Asclepias cornuti mit zwei herabhängenden Pollinien oder Pollenkölbchen, daneben ein solcher an einem Insektenfuße haftend.

Beim Frauenschuh, Cypripedium calceolus, (s. Tafel) dieser bekannten europäischen Orchidee, dagegen verfährt die Pflanze anders, um den sie besuchenden Fliegen ihre ebenfalls zu einem Klümpchen vereinigte Pollenmasse aufzuladen. Diese bei allen Orchideen durch einen Klebstoff zu einem gestielten kleinen Kölbchen vereinigten, in einem Klebscheibchen endigenden Pollenmassen werden in dieser speziellen Form als **Pollinien** oder **Staubkölbchen** bezeichnet. Beim Frauenschuh

Digitized by Google

ist nun die einem Schuhe gleichende Unterlippe — daher der Name — tief ausgehöhlt und trägt am Boden einen Besatz aus saftreichen Haaren, an denen kleine Nektartröpfchen ausgeschieden werden. Haben nun die Fliegen ihren Hunger und Durst an ihnen gestillt und die zuckerhaltigen, saftreichen Zellen der Besatzhaare abgeweidet, so suchen sie wieder ins Freie zu gelangen. Dies gelingt ihnen aber nicht so leicht, da die Ränder der mittleren großen Öffnung nach einwärts gebogen und so geformt sind, daß ein Erklettern derselben unmöglich ist. Es bleibt daher den Fliegen nichts anderes übrig, als sich durch einen der beiden kleinen Ausgänge im Hintergrunde der Höhle hindurchzuzwängen, wobei sie sich die eine Schulter mit der weichen, schmierigen Pollenmasse bekleben. Sucht nun das so beschmierte Insekt eine andere Blüte auf, so muß es unterhalb der breiten rauhen Narbe auf den Boden der Höhlung hinabschlüpfen, wobei es ganz von selbst den klebrigen Pollen an die Narbe anhaftet.

Dann gibt es unter den Fliegenblumen auch Täuschblumen, wie beispielsweise die Einbeere, Paris quadrifolia, und das Studentenröschen, Parnassia palustris, die durch glatte Körper mit stark glänzenden Köpfchen am Ende, die Honigtröpfchen vortäuschen, ohne solche zu sein, allerlei hungrige Insekten herbeilocken. Fast ausnahmslos sind es einfältige Fliegen, die sich auf solche Weise narren lassen. Diese müssen nun den betreffenden Pflanzen die Pollenübertragung besorgen, ohne dafür mit Honig gelabt zu werden. Solche Täuschblumen sind aber in der Pflanzenwelt doch eine große Ausnahme, da eben nicht viele selbst der dümmsten Fliegen sich auf die Dauer so grob täuschen lassen. Manche Blüten, die weder Pollen noch Nektar den sie befruchtenden Insekten als willkommene Speise anbieten, aber auch keine Täuschblumen bilden, bieten sonst irgend eine leckere Speise ihren Gästen an. So hat der österreichische Botaniker O. Porsch neuerdings gefunden, daß gewisse tropische Orchideen aus der Gattung Maxillaria auf den Lippen ihrer prachtvoll gefärbten Blüten einen gelben samtartigen Besatz aus tausenden von dichtgedrängten Haaren tragen. Diese zum Schmause ausgelegten Anlockungsmittel sind so sehr mit nahrhaftem Eiweiß und Fett vollgepfropft, daß sie für die sie verzehrenden Insekten eine ganz vorzügliche, begierig gesuchte Speise abgeben. Dabei haben diese flaschenförmigen Futterhaare einen so dünnen, leicht abbrechenden Stiel oder sitzen so lose auf ihrer Unterlage auf, daß die betreffenden Blumen den Gästen, die sich daran gütlich tun, möglichst alle Mühe beim Abreißen und Fressen derselben ab-

Digitized by Google

Tafel IX.



Der Frauenschuh, Cypripedium oder besser Cypripedilum Calceolus, der eine Zierde der Floren kalkhaltiger Gegenden ist.



Die bei uns in Laubwäldern häufige braune Nestwurz, Neottia Nidus-avis, welche die mit ihr in Symbiose lebenden Wurzelpilze ausbeutet.

Beide Orchideen nach unretouchierter Naturaufnahme von Sommerville Hastings.

Digitized by Google

nehmen. Jedenfalls könnte sie ihnen nicht mehr Entgegenkommen zeigen.

Bei diesen wunderbar aussehenden und duftenden Orchideen ist auch folgende zweckmäßige Arbeitsteilung eingeführt, der wir übrigens auch sehr oft, ja bei den meisten grellgefärbten und zugleich duftenden Blüten begegnen, daß nämlich bei ihnen das herrlich riechende Duftmittel, in diesem Falle das Vanillin, nur von gewissen Duftzellen am Rande und auf der Unterseite der Blumenlippen, die als speisebeladene Anflugbretter dienen, ausgeschieden wird, während in anderen Zellen die der Blüte ihre Pracht verleihenden und zur Erhöhung der Auffälligkeit dieses Organs dienenden Farbstoffe eingelagert sind.

Eine letzte Abart der Fliegenblumen sind die Schwebefliegenblumen, wie z. B. bei dem Ehrenpreis, Veroinca. Bei diesen sind die flachen Blüten weit geöffnet und zum bequemen Anflug der Gäste ist der Griffel weit ausgereckt. Fliegt aber eine Schwebefliege an, um Honig zu nippen, so drückt sie die beiden Staubfäden mit dem haftenden Pollen an ihre Seiten und bestäubt sich damit. Fliegt sie dann auf eine neue solche Blume, so gelangt der Blütenstaub ebenso sicher auf die ihn abstreifenden Narben, um die gewollte Befruchtung auszuüben.

Weiter gibt es Kleinkerfblumen, die ganz winzige, also wenig sichtbare, dafür aber sehr stark duftende Blüten aufweisen, um die ihnen angepaßten, die Befruchtung besorgenden, hauptsächlich durch den Geruch angezogenen kleinen Kerfe anzuziehen. So bleiben bei Herminium monorchis die Pollinien oder Pollenkölbchen an den Vorderfüßen der honigleckeren kleinen Aderflügler und Käfer kleben und werden auf diese Weise weiter verschleppt.

Über die meist geradezu raffinierten Einrichtungen, welche alle höheren Blütenpflanzen ausgebildet haben, um die von ihnen angelockten Insekten zu zwingen, die Befruchtung ihrer Blüten zu vollziehen, ließen sich ganze Bände schreiben. Wer sich dafür interessiert, lese in dem ausgezeichneten Pflanzenleben des der Wissenschaft zu früh entrissenen Wiener Professors Anton Kerner von Marilaun die betreffenden, eine kurze Übersicht gebenden Abschnitte nach, die immerhin noch die erste Hälfte des zweiten Bandes ausfüllen. Da erst wird auch jedem Laien klar werden, welch nahe Verwandtschaft auch intellektuell zwischen Pflanze und Tier besteht, daß die „unvernünftige" Pflanze vielfach an raffiniert klugen Einrichtungen dem gescheitesten Insekte weit über ist. Überall offenbart sich bei ihr ein so vollkommen ihren Absichten entsprechendes zweckmäßiges Han-

Digitized by Google

deln, daß man der Pflanzenseele teilweise dieselbe Vernunft wie dem intelligenteren Insekte zusprechen muß. Nur zeigt sie sich im Stillen, an kleinen Bewegungen und Einrichtungen, die, weil sie wenig auffallen, der großen Menge entgehen und sich nur demjenigen offenbaren, der die Pflanze und ihre Handlungen gegenüber der in die mannigfaltigsten Beziehungen zu ihr tretenden Tierwelt aufmerksam und geduldig beobachtet.

Aber nicht nur Insekten werden regelmäßig von den Phanerogamen zur Übertragung des Pollens von Blüte zu Blüte benützt, was wir als Entomophilie bezeichnen, sondern auch viel höher stehende warmblütige Tiere werden zu solcher Liebesbotschaft herangezogen. Begreiflicherweise sind es hier vor allem die beflügelten Warmblüter, die Vögel und Fledermäuse, denen eine solche Mission anvertraut wird; nur ganz ausnahmsweise werden Vierbeiner benützt, wie etwa die Kängurus in Australien, die von den Blüten einiger Scrubpflanzen dazu benützt werden, beim Abweiden von Blumenblättern den Pollen mit der Schnauze von einer Blüte auf die andere zu übertragen.

In den Tropen gibt es eine ganze Zahl von cheiropterophilen Pflanzen oder Fledermausblütlern, deren Blüten einer Übertragung des Pollens durch diese geflügelten Warmblütler angepaßt sind. So werden verschiedene Blüten von Pflanzen der Insel Trinidad durch kleine Fledermäuse befruchtet, während auf Java eine bis in die höchsten Bäume kletternde Pandanusart, Freycinetia, die sich einige Male im Jahre mit einem Kranze zart rosenroter Blüten bedeckt, vom großen Flughund, Pteropus edulis, bestäubt wird. Damit er dieses Geschäft besorge, bietet sie ihm wohlschmeckende, fleischige Blumenblätter als besondere Leckerspeise zum Fressen an. Und indem er sich diese Lockspeise zu Gemüte führt, berührt er in den männlichen Blüten mit seinem behaarten Kopfe die mit Blütenstaub bedeckten Antheren und überträgt dann beim Weiterfliegen den Pollen auf die davon getrennten, der Bestäubung harrenden weiblichen Blüten.

Viel häufiger als diese Cheiropterophilie ist die Ornithophilie oder Vogelblütigkeit, die besonders in den Tropen zur Beobachtung gelangt. So überträgt der chilenische Star, der mit Vorliebe die im Grunde der Blumenkrone der beiden den Ananas verwandten Erdbromeliaceen Puja chinensis und P. coerulea angesammelte, schwach zuckerhaltige Flüssigkeit genießt, dabei mit seinem Kopfe den Pollen von Blüte zu Blüte. Vollständig ornithophil sind auch die Feijoa- wie

Digitized by Google

die Carolinea-Arten Brasiliens, die von gewissen Spechten befruchtet werden. Sonst besorgen in der mittel- und südamerikanischen Flora die zahlreichen zierlichen Kolibris, in Afrika und Asien dagegen die als Blütenbesucher nicht minder schön gefärbten, lebhaften Honigvögel oder Nectarinien, die Bestäubung verschiedener ihnen angepaßter Blüten, bei denen sie sich teils um Nektar zu naschen, teils auch um die an ihm sich gütlich tuenden Insekten zu fangen, aufhalten. Am bekanntesten unter diesen ist die brasilianische Urwaldliane, Marcgravia nepenthoides und umbellata, deren purpurrote Blüten kreisförmig angeordnet sind und wie umgekehrte Kandelaber herabhängen. Vom gemeinsamen Träger dieser in einen Kreis gestellten Blüten hängen fünf langgestielte Kannen herab, die zur Blütezeit mit einer süßen Flüssigkeit gefüllt sind, welche zahlreiche Insekten zum Trunke herbeilockt. Diese, und nicht die Zuckerlösung verzehrt das insektenfressende Kolibri, das sich regelmäßig bei den Blüten einfindet. Dabei muß es, wenn es die Nektarien, an denen die Kerse sich gütlich tun, erreichen will, mit dem Rücken gegen die bürstenförmig gestellten Staubgefäße stoßen, welche es mit dem Pollen beladen, den es dann an den Narben der nächsten von ihm besuchten Blüte derselben Art abstreift. Bei einer andern Marcgravia-Art befinden sich die Kannen mit der Zuckerlösung oberhalb der Blütenstände am Stiele befestigt, wobei die Blüten nach oben gerichtet sind, so daß die diese Pflanzen zur Blütezeit besuchenden Kolibris den Blütenstaub auf die Brust gebürstet bekommen und ihn so weitertragen, bis er wiederum auf die befruchtungsfähigen Narben abgestreift wird.

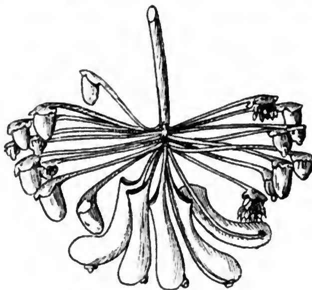


Fig. 202. Blütenstand von Marcgravia umbellata, der Bestäubung durch Kolibris angepaßt. (Halbe natürliche Größe.)

Alle diese den Kolibris, die ja bekanntlich nur in Amerika vorkommen, angepaßten Blüten sind nach der Lieblingsfarbe dieser farbenfrohen, wie Edelsteine leuchtenden Tierchen vorwiegend brennend rot gefärbt. Deshalb weist dieses Land so auffallend viel grellrote Blüten auf. So sind beispielsweise auch die in unsern Warmhäusern

Digitized by Google

vielfach gehaltenen Salbeiarten, Salvia fulgens und Salvia splendens, dann Lobelia fulgens als ornithophil grellrot gefärbt. Nach der roten kommt als Züchtung durch Vögel am häufigsten eine graublaue Färbung vor, in der meist die erwähnten, von Staren befruchteten Erdbromeliaceen prangen. In Afrika sehen wir verschiedene Honigsauger aus der bunten Familie der Nektarinien manche Blüten, besonders von holzigen Pflanzen, befruchten. So die weißen Blüten des zentralafrikanischen Affenbrotbaumes, Adansonia digitata, von dem noch mehr die Rede sein wird, und die in langen Trauben herabhängenden, großen rotgestreiften Blüten der zu den Bignoniaceen oder Trompetenblumigen gehörenden Kigelia africana, dem bereits erwähnten Fetisch- oder Leberwurstbaume (s. Fig. 56), der von Senegambien bis Abessinien vorkommt und durch seinen schönen Wuchs eine prächtige Erscheinung darbietet. In Australien und auf den polynesischen Inseln besorgen vorzugsweise die buntgefärbten Trichoglossiden oder Pinselzügler und andere Papageiarten, die vorzugsweise sowohl von Blütennektar und Pollen, als auch von den von denselben lebenden Insekten sich ernähren, die Befruchtung verschiedener Pflanzenarten.


Fig. 203. Blüte der ornithophilen baumartigen Myrtacee Feijoa Schenkiana aus St. Catharina in Brasilien (1/2 natürl. Größe) nach Schimper. Ein schwarzer Vogel frißt die schneeweißen, fleischigsaftigen, süßschmeckenden Blumenblätter, streift dabei die schön roten Staubgefäße und den überragenden Griffel.

Aber auch in unsern Breiten, wo in der Flora keinerlei ornithophile Anpassungen, wie bei derjenigen der Tropen, nachzuweisen sind, spielen die Vögel vielfach unfreiwillige Dienste bei der Befruchtung. So besorgen an dem Winde nicht zugänglichen Stellen die Raben, Krähen und Häher gelegentlich das Verstäuben der Haselnußsträucher und anderer anemophiler Pflanzen oder Windblütler. Auch die Grasmücken, Meisen und andere Insektenliebhaber, die nach solchen ganze blühende Pflanzenkolonien absuchen und ihren Schnabel immer wieder in

Digitized by Google

neue Blüten derselben Art stecken, vermitteln jedenfalls auch oft genug eine Kreuzbefruchtung. Doch sind bei uns aus solchen zufälligen, gelegentlichen Bestäubungen durch Vögel keine regelmäßigen Anpassungen bestimmter Pflanzen an bestimmte Vögel, wie in den Tropen, hervorgegangen.

Dafür aber gibt es auch bei uns, wie in den niederschlagsreichen, feuchten Gebieten der warmen Länder eine Anpassung mancher Blüten an Schneckenbefruchtung. Solche malakophile oder schneckenfreundliche Blüten finden sich begreiflicherweise, der an die Feuchtigkeit gebundenen Verbreitung der Schnecken entsprechend, an den Pflanzen feuchter Standorte oder geradezu an Wasserpflanzen. Die bekanntesten Schneckenblütler sind einige Aroideen oder Aaronsgewächse, deren bekanntester Vertreter die als beliebte Zimmerpflanze gehaltene sogenannte Kalla, Richardia aethiopica, mit ihren schönen weißen Blütenscheiden ist, dann die bei uns von Gärtnern gezogene Rhodea japonica und verschiedene Lemna-Arten oder Wasserlinsen. Diese letzteren erzeugen ganz außerordentlich winzige, mit unbewaffneten Augen eben noch sichtbare Blüten, die mit Weglassung aller für sie unnötiger Schauapparate nur die zur Fortpflanzung unentbehrlichen Organe enthalten. Da Wind- und Wasserströmungen oder die Möglichkeit einer Insektenbestäubung bei der Pollenübertragung dieser Pflanze völlig ausgeschlossen sind, so sind diese die stille Oberfläche von Teichen und Seen bewohnenden Pflänzchen auf fremde Hilfe angewiesen. Und diese leisten ihnen auch in der Tat kleine Wasserschnecken, die beim Abfressen von Wasserlinsenblättern die Befruchtung der winzigen Blüten regelmäßig vollziehen.

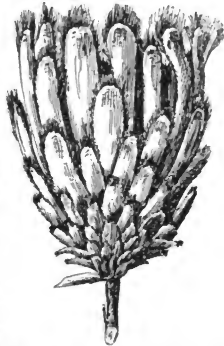


Fig. 204. Ornithophile rote Blüte der südafrikanischen Protea speciosa. (1/2 natürl. Größe.) Nach Schimper. Das Blütenköpfchen ist von steifen Brakteen umgeben, an deren Grund sich der Honig ansammelt. Beim Naschen des Honigs sitzen die auf der Brust ebenso gefärbten Honigvögel auf dem Rande des Bechers und streifen dabei die pollenbedeckte Brust gegen den hervorragenden Griffel.

In regenreichen Sommern werden aber auch sonst an die Befruchtung durch Insekten eingerichtete Blütenpflanzen, denen dieser Besuch durch die Ungunst der Witterung nicht zu Teil wird und die

Digitized by Google

dann auch den Ausweg der Selbstbefruchtung nicht vornehmen können, gelegentlich durch Schnecken befruchtet. Dazu gehören die Herbstzeitlosen und weißen Orakelblumen, die grüngelben Goldruten, das Milz- und Schlangenkraut und verschiedene andere, bei denen bei bedecktem Himmel an feuchten, regnerischen Tagen oder nächtlicherweile kleine Nacktschnecken, welche sich bei ihnen einfinden, um gierig die saftigen, wohlschmeckenden Blumenblätter abzufressen, beim Umherkriechen mit dem schleimigen Fuße den Pollen auf die Narben übertragen. Um sich aber vor dem Gefressenwerden der lebenswichtigen Organe zu schützen, sind stets alle eigentlichen Schneckenblütler gleichzeitig mit sehr wirksamen Schutzmitteln gegen diese dummen und gefräßigen Gäste versehen. Dazu dienen entweder allerlei chemische Schutzmittel, wie saure Säfte, ätherische Öle oder andere jene Weichhäuter ätzende Öle, die von bestimmten Haaren abgesondert werden, oder aber besonders gerne auch mechanische Abwehrmittel. Unter den letzteren ist als besonders wirksam gegen den Schneckenfraß die Ausbildung nadelförmiger Kristalle von kohlensaurem Kalke beliebt, die wir später noch als Raphiden kennen lernen werden. An ihnen verletzt sich die Zunge der unvorsichtig etwa zubeißenden Schnecke so gründlich, daß sie alsbald von ihrem Vorhaben abläßt und sich mit den ihr von der Pflanze angebotenen unwichtigeren, weil leicht zu ersetzenden Teilen begnügt.

Trotz der überaus großen Mannigfaltigkeit der Pollenübertragung durch Tiere bei den Phanerogamen, von der wir hier nur einige kurze Andeutungen zu geben vermochten, haben sich gewisse Ordnungen derselben doch wieder der altmodischen, einst bei den Gymnospermen ausschließlich geübten Windblütigkeit oder Anemophilie zugewandt, so alle Kätzchenblütler, die Spelzblütler, die Laichkräuter, die Sauerampfer-, Knöterricharten u. a. Alle diese sind nach den eingehenden Untersuchungen von Hallier in Hamburg erst sekundär windblütig geworden und ihre Blütenhülle ist als ein Rest der Insektenblüte zu betrachten. Sie bilden hochdifferenzierte Narben und Staubblätter aus. Daß diese Windblütigkeit an den verschiedensten Orten des Pflanzensystems aufgetreten ist, wie etwa die Selbstbestäubung, das beweist schon, daß diese Einrichtung eine sekundär eingeführte ist. So sind die Wegericharten, der Tannenwedel, Hippuris, das Tausendblatt, Myriophyllum, die Bartsia und die Schuppenwurz gerade auf dem Übergang von Insekten- zu Windblütigkeit begriffen.

Fast alle Windblütler haben ihre Geschlechter auf verschiedene Blüten verteilt, d. h. sie sind polygam. Entweder diöcisch, d. h.

Digitized by Google

getrenntgeschlechtig, wie beispielsweise Gingko, Hanf und Brennessel, oder monöcisch, d. h. männliche und weibliche Blüten wachsen auf derselben Pflanze, wenn auch meist in getrennten Blütenständen, wie bei den Nadelhölzern, bei Eiche, Birke, Haselnuß, Riedgräsern und Tausendblatt.

Außerdem sind sehr viele von ihnen dichogam, d. h. die Narben sind empfängnisfähig bevor die Staubbeutel sich an derselben Pflanze öffnen, wie bei vielen Gräsern, den Simsen, den Wegerichen und dem Laichkraut. Bei manchen Anemophilen, wie z. B. der Wallnuß, gibt es proterogyne und proterandrische Stöcke, d. h. solche, die zuerst ihre weiblichen, und solche, die zuerst ihre männlichen Blüten entfalten. Dadurch ist dem Winde die von der höheren Pflanze stets zu vermeiden gesuchte Möglichkeit einer Befruchtung mit

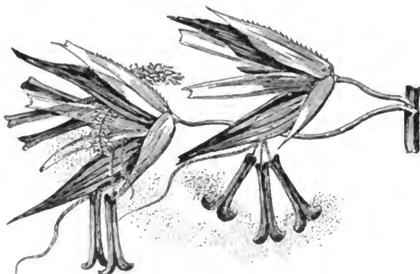


Fig. 205. Blütenährchen des französischen Raigrases, Arrhenaterum elatius, bei bewegter Luft. Die Blüte rechts mit pendelnden Antheren und ausstäubendem Pollen, die links dagegen sind bereits des Pollens beraubt, von einem Faden die Anthere abgefallen. In der oberen ist die gefederte Narbe schon ausgestreckt und zum Auffangen des herangewehten Pollens bereit, aber die Antheren sind noch geschlossen, wenn auch schon im Vorgeschobenwerden begriffen.

dem Blütenstaube derselben Pflanze ganz unmöglich gemacht.

Stets sind bei den Anemophilen die Geschlechtsorgane möglichst hoch oben, wo sie dem Winde stark ausgesetzt sind, angebracht; es sei nur an die allbekannten Tannen- und Fichtenzapfen erinnert. Die ganze Blüte ist so beschaffen, daß jeder Lufthauch möglichst ungehindert als Transportmittel ihres Blütenstaubs verwendet werden kann. Deshalb strecken alle die mit möglichst vergrößerter Oberfläche versehenen Narben, wie auch die Staubfäden möglich frei in die Luft und haben alle übrigen Blütenteile, so weit sie nicht wie die Deckblätter als

Digitized by Google

Hüllen zum Schutze gegen Durchnässung des Blütenstaubes nötig sind, vollkommen zurückgebildet. Wie die Narben zum möglichst leichten Auffangen der angewehten Pollenkörner federartig, wie bei den Gräsern (s. Fig. 205), oder durch zahlreiche Windungen, wie bei den Begonien, vergrößert sind und zahlreiche Fanghaare entwickeln, so wird der Blütenstaub der männlichen Blüten entweder beim Wind ausgeschleudert oder die Antheren werden, wie bei den Gräsern, an langen Fäden, den sogenannten Filamenten, getragen, geraten durch den leisesten Windstoß in schwingende und zitternde Bewegungen, wobei sie ähnlich wie geschüttelte Streubüchsen den stäubenden Pollen in kleinen Prisen entlassen. Noch bessere Streubüchsen als die Gräser haben die anemophilen Kätzchenblütler in ihren langen, pendelnden Blütenständen aufgebracht.

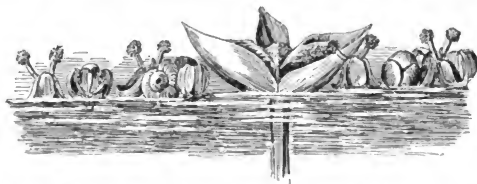


Fig. 206. Die Blüten der Vallisneria spiralis auf dem Wasserspiegel schwimmend. In der Mitte die weibliche oder Fruchtblüte die Narben mit den gefransten Rändern weit ausstreckend; um sie herum zahlreiche männliche oder Pollenblüten, teilweise geschlossen oder im Öffnen begriffen, teilweise aber auch geöffnet mit herabgeschlagenen kahnförmigen Blumenblättern und ausgestreckten Staubblättern, von denen eine ihren Pollen an den gefransten Narbenrand der Fruchtblüte heftet.

Manche andere Pflanzen, die sich dem Wasserleben anpaßten, sind zur Wasserbestäubung oder Hydrophilie übergegangen, indem sie ihren, weil er sich nicht mehr vor der Vertrocknung zu schützen brauchte, häufig ohne Exine ausgebildeten Pollen der Wasserströmung übergeben, um ihn auf die Narbe einer andern Blüte derselben Art zu bringen. Für diesen Wassertransport wurden zweierlei Wege eingeschlagen. Entweder ist der Pollen oder die ihn bergende männliche Blüte leichter als Wasser oder er ist schwerer als letzteres. Ersteren Weg schlug der Wasserstern, Callitriche autumnalis und verna, und das Seegras, Zostera maritima, ein, bei welchen der Pollen an die Wasseroberfläche hinaufsteigt, um sich an die Narben der daselbst schwimmenden Blüten zu heften. Bei Vallisneria spiralis lösen sich die kugelig geschlossenen männlichen Blüten von den untergetauchten

Digitized by Google

kurzen Kolben, öffnen sich und bilden so kleine Schiffchen, aus denen die Staubfäden weit herausragen, und gelangen so, von der Wasserströmung oder vom Winde getrieben, an die breit ausladenden Narben der an langen Stielen auf der Wasseroberfläche schwimmenden weiblichen Blüten. Letzteren Weg, das Gewicht des Pollens gleich schwer oder schwerer als das Wasser zu machen, betraten die Nixenkräuter oder Najadaceen, bei denen der mit zahlreichen Stärkekörnern beschwerte Pollen im Wasser schwebend die Narbe erreicht, während beim untergetauchten Wasserhornkraut, Ceratophyllum demersum, sich die ganzen Staubbläter bei ihrer Reife aus der Blüte lösen, während des Auftriebs platzen, wobei der Pollen im Wasser suspendiert bleibt, um von den Wasserströmungen getrieben an die Narben der weiblichen Blüten zu gelangen.


Fig. 207. Blüte der Salbei, Salvia Aethiopis, von der violettflügeligen Holzbiene, Xylocopa violacea, besucht. Beim Einführen des Kopfes in das Blüteninnere wird mit Hilfe eines langen Hebels der Rücken mit dem Pollen beladen.

Durch diese Kreuzbefruchtung, welche alle höheren Pflanzen unbedingt anstreben, und für deren möglichst gesicherten Vollzug sie eine solche Fülle der wunderbarsten Einrichtungen getroffen haben, wird nicht nur eine möglichst hohe Variationsfähigkeit, sondern jedenfalls auch eine größere Lebensfähigkeit erzielt, so daß die Pflanze als Samen sehr lange Perioden der Trockenheit ungefährdet überstehen kann. Es wird daher auch bei einer großen Zahl von Zwitterblüten die Selbstbefruchtung auf die verschiedenste Weise unmöglich gemacht, vor allem dadurch, daß Narben und Staubgefäße zu sehr verschiedenen Zeiten ihre völlige Ausbildung erlangen, was man als Dichogamie bezeichnet. Dabei ist die Blüte entweder proterogyn, d. h. die Narbe ist bereits befähigt, befruchtenden Pollen aufzunehmen, wenn die Staubblätter derselben Blüte noch geschlossen sind, und ist dann bereits abgestorben, wenn letztere sich öffnen, so daß die Befruchtung nur durch den Pollen einer älteren Blüte möglich ist, wie beim Wegerich, dem Skrophelkraut, dem Ruchgras und der Hasenbinse, Luzula u. a. Oder sie ist proterandrisch, d. h. ihr Pollen stäubt bereits aus, wenn die Narbe noch unentwickelt ist, er daher nur auf der Narbe einer älteren Blüte zur

Digitized by Google

Entwicklung gelangen kann, wie bei Geranien, Malven, Kompositen, Doldenblütlern, Glockenblumen, dem Weidenröschen usw.

In andern Fällen ist trotz gleichzeitiger Ausbildung der Geschlechtsorgane die gegenseitige Stellung eine solche, daß eine Selbstbestäubung ausgeschlossen ist. Gewöhnlich stehen die Antheren unterhalb der Narben, so daß der Pollen auf den Grund der Blüte oder auch zu dieser hinausfallen muß, wie bei den Schmetterlingsblütlern, den Orchideen, den Passionsblumen, vielen Lippenblütlern und Skrophelkräutern, der Schwertlilie, dem Crocus und dem Veilchen. Die die Bestäubung vermittelnden Insekten, welche nach Nektar suchend in die Blüten hineinkriechen, streifen den Pollen mit dem Rücken aus

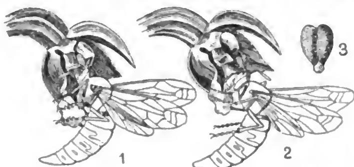


Fig. 208. 1 Aufladen und 2 Abstreifen der Pollenkölbchen gegen die Narbe einer Orchidee, und zwar der Sumpfwurz, Epipactis latifolia, durch eine Wespe, Vespa austriaca. 3 Die beiden Pollenkölbchen (Pollinien) sind durch das Rostellum verbunden, das von einer klebrigen Masse bedeckt ist.

den offenen Antheren und wischen ihn in einer andern Blüte an der Narbe ab, um dann, tiefer in diese hineinkriechend, eine neue Ladung Blütenstaub für eine folgende Blüte mitzunehmen. Bei der Salbei tupft sich das die Blüte besuchende Insekt selber die Pollen der fruchtbaren Antherenhälften auf seinen behaarten Rücken, indem es mit dem Kopf das entgegengesetzte Ende des hebelartigen beweglichen Connectivs berührt, dieses dadurch vorwärts und das andere emporstehende Ende abwärts drückt. Bei den Orchideen kleben sich dem aus den Nektarien Honig trinkenden Insekte die mit Klebscheiben versehenen Pollinien oder Pollenkölbchen an der Stirne des Tieres an, wo sie beim Fortfliegen desselben wie zwei Hörnchen sitzen bleiben. Indem nun während des Fluges die Vorderseite der Kölbchen mehr austrocknet als die Rückseite, verkürzt sie sich dort langsam, so daß die zuerst aufgerichteten Kölbchen sich nach vorne neigen und sich damit in die Richtung der Längsachse des Insektes legen. Durch diese höchst zweckmäßige Bewegung wird erreicht, daß, wenn das Insekt eine neue Blüte besucht, es beim Gelangen zur Honigquelle die Pollenkölbchen gegen die klebrigen Narbenflecke zu beiden Seiten der Pollinientäschchen andrückt und einige Pollenkörner dort absetzt. So kann es

Digitized by Google

mit denselben Pollenkölbchen mehrere Blüten befruchten. Durch Einführen einer Bleistiftspitze in eine noch seine Pollinien besitzende Orchideenblüte läßt sich das Experiment leicht nachmachen. Auch hier ist der Pollen auf derselben Blüte vollkommen wirkungslos.

Bei manchen Zwitterblüten, wie bei den Primeln und Leinarten, wird eine Selbstbefruchtung dadurch unmöglich gemacht, daß bei den verschiedenen Blüten die einen lang-, die andern dagegen kurzgriffelig sind. Bei den langgriffeligen Blüten stehen die Antheren tief unter der Narbe, während bei den kurzgriffeligen die Antheren hoch oben über der Narbe des kurzen Griffels stehen. Diese Erscheinung bezeichnet man als Heterostylie. Bei derselben läßt sich feststellen, daß die Bestäubung der Narbe einer langgriffeligen Form mit dem Pollen einer kurzgriffeligen und umgekehrt die meisten und lebenskräftigsten Samen erzeugt. Die Blüten von Lythrum Salicaria, dem Blutweiderich und von manchen Oxalis- oder Sauerkleearten weisen sogar dreierlei Griffellängen und damit in Verbindung stehende Antherenstellungen in gleichem Sinne wie die Primeln auf.

Ebenso finden sich beim Sauerklee, Oxalis acetosella, beim Veilchen, beim Rührmichnichtan, beim Sonnentau, manchen Schmetterlingsblütern, bei der als Lamium amplexicaule bezeichneten Taubnessel und andern zweierlei ungleich große Zwitterblüten, von denen die kleinen, in den Blütenhüllen mehr oder weniger verkümmerten und sich nichtöffnenden, oft am Boden verborgenen oder sogar unterirdischen Blüten häufig allein Frucht bringen, während die zuerst gebildeten normalen Blüten steril bleiben. Diese durch Selbstbestäubung in einer geschlossenen Blüte stattfindende Befruchtung bezeichnet man als Kleistogamie. Diese tritt nach den Untersuchungen von Prof. Vöchting besonders bei Lichtmangel auf, bei manchen Arten auch bei allzuhohem Wasserstand. So öffnen sich bei der Vogelmiere, Stellaria media, die Blüten bei schwachem Lichte nicht und es tritt dann Selbstbestäubung ein; es besteht also hier eine fakultative Kleistogamie.

Findet eine solche Selbstbestäubung in einer normalen Blüte statt, so sprechen wir von Autogamie. Auch sie ist eine sekundäre Differenzierung aus der Insektenblütigkeit, welche als ein Akt der Selbsthilfe der Pflanze bei ausbleibendem Insektenbesuche ausgebildet wurde. Sie wird auf die mannigfaltigste Weise vorgenommen, entweder durch Bewegungen der Antheren gegen die Narbe oder umgekehrt des die Narbe tragenden Griffels gegen die Pollenblätter, ferner

Digitized by Google

durch Vermittlung der Blumenblätter, durch Änderung der Lage und Richtung der Blütenstiele, wie auch durch Zusammenwirken verschiedener Blütenteile. Zwischen der Selbstbestäubung (Autogamie) und Fremdbestäubung (Xenogamie) steht ebenfalls als ein sekundärer Erwerb infolge mangelnden Insektenbesuches die Nachbarbestäubung oder Geitonogamie durch Anschmiegen belegungsfähiger Narben an den ausgebotenen Pollen der Nachbarblüten oder durch Herabfallen des Pollens höher stehender Blüten auf die benachbarten niedriger stehenden. Dies ist sehr oft bei den Doldenblütlern und den ligulifloren Kompositen der Fall.

Ebenso unübersehbar mannigfaltig wie die Einrichtungen zur Befruchtung sind bei der Pflanze diejenigen zur Ausstreuung der Samen, die wir später bei der Besprechung der Symbiose eingehender würdigen wollen.



Fig. 209. Autogamie durch Vermittlung der Blumenkrone beim Läusekraut, Pedicularis incarnata, der Alpenwiesen. Durch Nachvornsenken der unbefruchteten Blüte gelangt der Pollen auf die Narbe derselben Blüte.

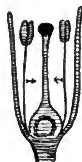


Fig. 210. Autogamie durch direkte Betupfung der Narben durch die mit Pollen beladenen Antheren.

Es genüge, hier nur die wichtigsten diesbezüglichen Tatsachen kurz anzuführen. Die älteste und ursprünglichste Art der Ausstreuung von Samen ist das Herabfallenlassen, was natürlich nur eine sehr langsame Verbreitung der Früchte ermöglicht. So sind die meisten zu der weit zweckmäßigeren Verbreitung durch den Wind übergegangen, indem sie die Oberfläche mehr und mehr vergrößerten, um sich so möglichst weit von den Luftströmungen hinwegtragen zu lassen. Ein anderer Ausweg war die Bildung von Fruchtfleisch, um allerlei Tiere anzulocken, welche die Früchte essen und den unverdaulichen Samen weit von der Stelle ihres ursprünglichen Standortes wieder von sich geben. Schon die Cycasarten schlugen diesen Weg ein, den die Phanerogamen dann auf das Mannigfaltigste ausbildeten, indem sie besonders die leichtbeschwingten beweglichen Vögel zu diesem Liebesdienste anstellten. Da die Insekten viel zu schwach sind, konnten sie hiezu nicht verwendet werden, wohl aber wurden sie als Überträger

Digitized by Google

des leichten Pollens von der größten Mehrzahl der Phanerogamen in Anspruch genommen. Nur auf dem Boden laufende Kerfe mit starken Kiefern, wie die Ameisen, konnten gelegentlich dazu in Dienst gestellt werden. Die Vierfüßler, speziell die warmblütigen Säugetiere, wurden dadurch als Beförderungsmittel benützt, daß zahlreiche Pflanzen ihre Frucht an sie durch klebrige Ausscheidungen, weit häufiger aber durch Anhaken an die Füße oder ans Fell befestigten und so weitertragen ließen. Wasserliebende Arten hingen sich besonders gerne an die Beine und Füße der Sumpfvögel an, die bei ihren Wanderzügen die Samen über weite Gebiete verbreiten. Sonst bildeten speziell die Strandpflanzen häufig Lufträume aus, um die Samen spezifisch leicht zu machen, damit sie schwimmend von den Wasserströmungen hinweggetragen werden können; dabei mußten auch dicke Umhüllungen

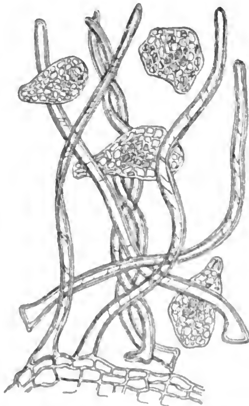


Fig. 211. Außerordentlich leichte und deshalb gut flugfähige Samen der Orchidee Vanda teres, welche durch hygroskopische haarförmige Zellen aus dem Innern der Kapsel an die Oberfläche befördert und hier den Luftströmungen ausgesetzt werden. (Hundertfach vergrößert.)

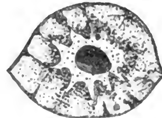


Fig. 212. Durchschnitt einer mit Schwimmgewebe umgebenen Frucht von Terminalia katappa, die von Meeresströmungen weithin verschleppt und in Form von Driftauswürfen oft massenhaft am Strande von Java und Sumatra zusammengeschwemmt wird. (1/2 natürliche Größe.)

geschaffen werden, um sie bei langem Wassertransport vor der Einwirkung der ätzenden Salze des Meerwassers zu schützen.

Ein allbekanntes Beispiel dafür ist die Kokosnuß, die sich aus ihrer ältesten Heimat, nämlich Südamerika um das caraibische Meer, speziell am Fuße der kolumbischen Kordillere, teils von selbst, teils durch Mithilfe des Menschen, die Küsten aller tropischen Kontinente, besonders die Inselwelt des Stillen Ozeans, eroberte und hier eine für

Digitized by Google

das Fortkommen des Menschen höchst wichtige Rolle spielt. Sagt doch ein indisches Sprichwort, daß die Kokospalme 99 nützliche Eigenschaften habe, die hundertste jedoch noch nicht gefunden sei.

Noch merkwürdigere Reisen als die Kokosnuß hat bis auf unsere Tage die noch viel größere und schwerere Seychellennuß gemacht, die bereits im Mittelalter in einigen wenigen Exemplaren im Morgen- und Abendlande bekannt war. Aus unbekannter Ferne wurde sie bisweilen, wenn auch äußerst selten, an der Küste von Vorder-Indien und an den Strand der ihr vorgelagerten Inselgruppe der Malediven angeschwemmt. Kein Mensch wußte zu sagen, woher diese geheimnisvolle, merkwürdig gelappte, bis 40 cm lange Frucht herrühre, und so bildete sich im Mittelalter die Sage, daß sie als eine Zauberfrucht am Grunde des Meeres wüchse. Ihrer überaus großen Seltenheit und ihrer geheimnisvollen Herkunft wegen galt sie darum als ein äußerst kräftiges Zaubermittel, von dem schon kleine Partikel gegen die schwersten Krankheiten und schlimme Verhexung Wunder wirken sollten. Ein berühmtes Exemplar der Nuß wurde, in Silber gefaßt, in der Schatzkammer des österreichischen Kaiserhauses als höchst wirksamer Talisman gegen dämonische Einflüsse aufbewahrt. Endlich fand man die wirkliche Heimat dieser selbstverständlich nicht in der Tiefsee gewachsenen, sondern durch harte Schale und mächtige Entwicklung eines Schwimmkörpers auf weite Seereisen eingerichteten Baumnuß auf der winzig kleinen Insel Praslin der Seychellengruppe nordöstlich von Madagaskar. Nur dort auf der ganzen Welt kommt die große, mit wundervollen Blattwedeln gezierte Erzeugerin jener merkwürdigen Nuß vor, die Lodoicea Seychellarum, von der wir sowohl die Frucht als ein aus einer solchen hervorgegangenes junges Exemplar abbilden. Bei der gewaltigen Größe der Seychellennuß kann uns die durch Swin-

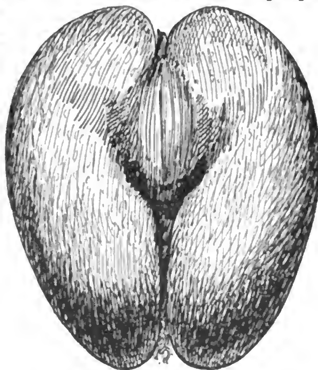


Fig. 213. Nuß der Seychellenpalme, Lodoicea Seychellarum, nach dem Original im Baseler Botanischen Institut.

Digitized by Google

burd-Ward sichergestellte Tatsache, daß eine solche 10 Jahre zum Reifen gebraucht, nicht wundern. Wie spärlich pflanzt sich eine solche Riesin fort und wie leicht ist daher ihre Ausrottung bei ungünstigen Verhältnissen! So haben sich von diesem Weltwunder im ganzen nur wenig hundert Exemplare auf jener weltverlorenen Insel bis auf unsere Tage erhalten. Aber die heute solche unschätzbaren Überbleibsel einer früheren Schöpfung wert haltende Kulturmenschheit trägt Sorge dafür, daß diese „letzten Mohikaner" nicht wie die Tasmanier, die Stellersche Seekuh und zahllose andere in den letzten Jahrhunderten ausgerottete, unersetzliche Dokumente der Naturgeschichte völlig ausgerottet werden und damit vom Schauplatze des Lebens endgültig verschwinden.



Fig. 214. Ein junges Exemplar der prachtvollen großblättrigen Seychellenpalme, Lodoicea Seychellarum, im botanischen Garten von Buitenzorg auf Java.

Außer Wind, Tieren und Wellen, die sie für sich tätig sein lassen, sorgen auch die Pflanzen selbst für möglichst weite Verbreitung ihrer Samen, indem sie sie nach der Reife möglichst weit fortschleudern. Meist dienen dazu von der Pflanze erzeugte starke Gewebespannungen im Innern der Früchte infolge einseitig kräftigeren Wachstums bestimmter Teile, wodurch eine plötzliche starke Bewegung durch Auf-

Digitized by Google

rollung oder Verspritzen stattfindet. So gibt es explodierende Früchte wie diejenigen der Spritzgurke Südeuropas, die sich dermaßen mit Flüssigkeit füllen, daß sie, unter hohem Druck stehend, bei der geringsten Berührung meterweit fortgeschleudert werden und die in ihr geborgenen Samen verspritzen. Bei den Schleuderfrüchten, wie dem Springkraut oder Rührmichnichtan, wird die Wegschleuderung durch das plötzliche Aufrollen der in starker Spannung befindlichen Fruchtblätter besorgt.



Fig. 215. Zweig mit Blüten und Früchten der Spritzgurke, Ecballium elaterium. Bei der Reife wird das Gewebe um den am Ende des Fruchtstiels befindlichen Zapfen verschleimt und beim Abfallen der Gurke werden die unter starker Pressung im Fruchtinnern in Schleim gebetteten Samen mit großer Gewalt ausgespritzt.

Andere Pflanzen lagern die Zellschichten der Früchte von vorneherein so, daß die beim Austrocknen derselben bei der Reife entstehende Spannungsdifferenzen die Schale zerreißen und die Samenkörner weit wegschleudern, so bei der chinesischen Wistaria bis 10 m, ja beim ameri=

Digitized by Google

kanischen Sandbüchsenbaum Hura crepitans sogar bis 14 m weit. Das ist doch gewiß eine ganz respektable Leistung. Manche Samen endlich, wie z. B. diejenigen des Veilchens, werden bei der Reife aus ihrer Kapsel herausgequetscht, so wie etwa Kirschkerne von mutwilligen Knaben durch den Druck der Finger hinausgeschnellt werden.

Der so auf die mannigfaltigste Weise von der Mutterpflanze durch eigene Initiative oder fremde Hilfe möglichst weit weg ausgestreute Same mußte nun durch besondere Einrichtungen im Boden, von dem er Besitz genommen, verankert werden, damit er feucht bleiben und der bei der Keimung heraustretende Sämling sich aus der beengenden harten Schale hinausziehen könne. Zu diesem Festhalten am Boden dienen meist mit Widerhaken versehene Borsten, wie bei zahlreichen Gräsern, nur ausnahmsweise Schleimhüllen, wie bei Lein und Quitte. Da es stets Pflanzen trockener Standorte sind, die sich mit letzterem Mittel behelfen, so dient diese Schleimhülle gleichzeitig als wichtiges Schutzmittel gegen Austrocknung.

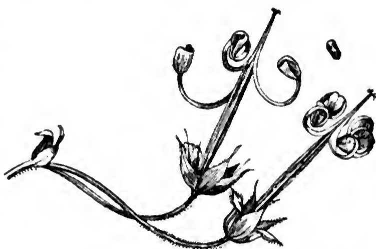


Fig. 216. Wegschleudern der Früchte des Sumpfreiherschnabels, Geranium palustre, durch mit Austrocknung verbundene Verkürzung der der Mittelsäule anliegenden Grannen.

Die erste Bedingung für die Keimung des Samens ist eine Wasserzufuhr, wodurch der in einem Zustand latenten Lebens befindliche Inhalt durch Feuchtigkeitsaufnahme quillt und zunächst die Samenschale sprengt. Bei manchen Samen wirken dabei auch die Humussäuren des Bodens mit und bei andern die überall im Boden vorkommenden, den grünen Pflanzen nicht nur schädlichen, sondern vielfach auch nützlichen Pilze. Letztere befördern beispielsweise ebenfalls die Keimung der winzigen, mit Flugorganen versehenen Orchideensamen, die wie auch die Samen der Rose und anderer Gewächse 1—2 Jahre zum Keimen gebrauchen. Als erste Erscheinung am keimenden Samen beobachten wir das Austreten des Würzelchens, das positiv geotropisch, d. h. der Schwerkraft folgend in die Tiefe wächst, um den

Digitized by Google

Trieb nicht nur fest zu verankern, sondern auch mit Wasser und darin aufgelösten Nährsalzen aus dem Boden zu versorgen. Dann wachsen die beiden Keimblätter hervor, die bis hinauf zu den höchsten Phanerogamen noch bestehen blieben, weshalb man sie als Dikotyledonen oder Zweikeimblätterige zusammenfaßt. Manchmal können sie aber auch in der Erde stecken bleiben, ergrünen nicht und dienen dann als Nahrungsspeicher oder als Saugorgane, um die Nahrung für die aufkeimende Pflanze aus dem Reservestoffbehälter herauszuschaffen wie bei Dattel und Kokosnuß. Die ergrünenden Keimblätter sind stets von einfachster ovaler Gestaltung, wie sie die phanerogame Urpflanze trug, und werden aus der Samenschale hinaus ans Licht gestreckt, damit der in ihnen enthaltene Chlorophyllapparat der jungen Pflanze, die bis dahin ausschließlich vom mitgegebenen Nahrungsvorrat zehrte, durch seine assimilierende Funktion die Möglichkeit selbständigen Lebens verschaffe. Bei den sehr dickschaligen Früchten, wie bei der Kokos- und Seychellennuß, sind in den Samen rundliche Öffnungen zum Heraustreten des Keims vorgebildet, wie überhaupt die ganze Anlage des Samens den Bedürfnissen des Keimlings volle Rechnung trägt.



Fig. 217. Schließfrüchte oder Achenien des Löwenzahns mit einer als Pappus bezeichneten Federkrone, die zur Zeit der Fruchtreife durch Umwandlung der Fruchtblätter entsteht und als Fallschirm dient, um den daranhängenden Samen im Winde möglichst weit wegzutragen.

Um die ihm entweder im Endosperm oder bei manchen Arten, wie beispielsweise bei den Samen der Seerosen, mehr in dem aus dem Nucellusgewebe hervorgegangenen Perisperm aufgespeicherte Reservenahrung zu lösen, scheidet der Keimling von einem Saugfortsatze aus gewisse Fermente aus. Dieser mit chemischen Hilfsmitteln arbeitende Saugfortsatz, der beispielsweise bei Welwitschia noch gut ausgebildet ist, schrumpft bei andern Arten, wie z. B. beim Kürbis, mehr zu einem Stemmfortsatze zusammen, welcher der jungen Pflanze nur dazu dient, die abgestreifte Samenschale an den Boden zu drücken, damit sie nicht mit in die Höhe komme und die Entfaltung der Keimblätter hindere.

Die ursprüngliche Zahl der Keimblätter ist bei den Angiospermen wie bei den Gymnospermen die Zweizahl. Aber sehr frühe schon zweigte

Digitized by Google

sich vom Hauptaste der Dikotyledonen oder Zweikeimblätterigen der große Seitenast der Monokotyledonen oder Einkeimblätterigen ab, und zwar in der großen Familie der Polycarpicae oder Vielfrüchtler bei der Gruppe der Ranunculaceen über die Untergruppe der Helobieen. Dieses einzige Keimblatt entstand bei dieser nur mehr oder weniger einheitlichen Gruppe der Monokotyledonen entweder durch Verwachsen der zwei ursprünglichen Keimblätter zu einem einzigen, oder dadurch, daß nur ein Keimblatt blieb und das andere metamorphosiert wurde, wie beispielsweise bei den Dioscoraceen. Doch ist der Unterschied zwischen Mono- und Dikotyledonen durchaus nicht scharf und sind allerlei Übergänge zwischen beiden nachzuweisen. Im ganzen haben erstere viele altertümliche Merkmale beibehalten. So ist der Embryo stets sehr klein und hat vor der Keimung das Endosperm

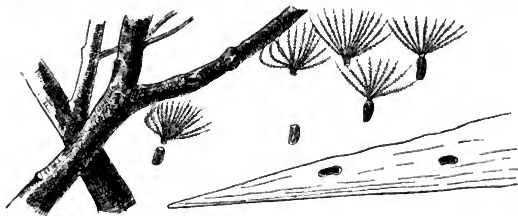


Fig. 218. In der Luft schwebende Früchte der Distel, Cirsium nemorale, welche sich von dem sie tragenden Fallschirme sofort ablösen und zur Erde fallen, wenn sie bei ihrem Fluge an einen festen Gegenstand anprallen.

noch nicht in sich aufgenommen. Bei der erwachsenen Pflanze sind die Blätter noch regelmäßig parallelnervig und nur ganz ausnahmsweise, z. B. bei den Araceen und Dioscoraceen, wie bei den Dikotyledonen netznervig. Die Gefäßbündel sind nicht mehr einer sekundären Teilung fähig, deshalb ist ein sekundäres Dickenwachstum, das bereits in der Gruppe der Wasserfarne bei den Sigillarien und Lepidodendren der paläozoischen Zeit und bei sämtlichen Gymnospermen erlangt worden war, nur ein sehr seltenes, auch erfolgt fast nie eine Verzweigung des Stammes. Bei den Blüten ist wie bei den Polycarpicae die Dreizahl die Regel.

Stets sind die ersten Blätter auch der höchstentwickelten Pflanzen der heutigen Schöpfung in Reminiscenz an die Blattbildung der ältesten Phanerogamen höchst einfach gebaut. Wie erst im Laufe der Kreide-

Digitized by Google

und besonders Tertiärzeit sich bei den höheren Pflanzen eine immer weitergehende Differenzierung der Blätter ausbildete, so entstehen die komplizierter zusammengesetzten Blätter erst später. So wächst auch der Keimling der Pflanze, wie das Tierjünge, aus ganz beschei-

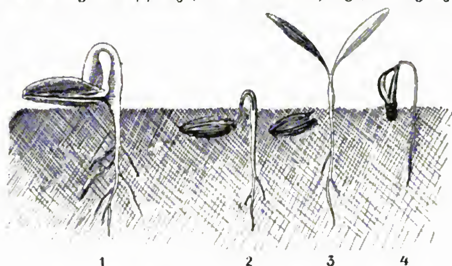


Fig. 219. 1 keimender Kürbis, Cucurbita Pepo, mit einem „Stemmfortsatze", der bei der Welwitschia noch als Nährfortsatz dient, die Samenschale, von der er sich befreit, niederdrückend. 2 und 3 Entbindung der Keimblätter aus der Samenschale beim Stinkasant, Scorodosma Asa foetida, 4 bei der einjährigen Immortelle Helichrysum annuum.

denen Anfängen nach und nach zu dem mächtigen, aus vielen Milliarden von Zellen zusammengesetzten Wunderbau heran, der seine äußerste Spitze weit in die Lufthülle, der strahlenden Sonne entgegen streckt, um in jährlichem Wechsel zu blühen und Früchte zu tragen, die die Art fortpflanzen sollen, damit, wenn er selbst einmal zugrunde gegangen sein wird, der von ihm ausgegangene Nachwuchs an seine Stelle trete und den Kreislauf der Elemente weiterführe.

Digitized by Google

VIII.

Das Ende des Lebens.

„Nichts ist beständig als der Wechsel! Alles Sein ist ein beständiges ‚Werden und Vergehen‘! So lehrt uns die Entwicklungsgeschichte der Welt sowohl im großen ganzen, wie in allen einzelnen Teilen. Ewig und unveränderlich ist nur die Substanz, gleichviel, ob wir dieses allumfassende Weltwesen Natur oder Kosmos, Weltgeist oder Gott nennen. Das Substanzgesetz lehrt uns, daß dieselbe zwar in einer unendlichen Fülle wechselnder Formen sich offenbart, daß aber ihre wesentlichen Attribute, Materie und Energie, sich beständig erhalten. Alle individuellen Formen der Substanz sind dem Untergange geweiht. Das gilt ebenso von unserer Sonne und den sie umkreisenden Planeten wie von den Organismen, die unsere Mutter Erde bevölkern; ebenso vom Bakterium wie vom Menschen. Wie jedes organische Individuum einen Anfang seines Lebens hat, so geht es auch widerstandslos seinem Ende entgegen. Leben und Tod sind mit Notwendigkeit verknüpft. Aber über die eigentlichen Ursachen dieses Geschickes sind die Ansichten der Philosophen und Biologen noch sehr verschieden. Die meisten gehen schon deshalb fehl, weil sie keine klare und einfache Definition vom Wesen des Lebens besitzen und somit von seinem Ende keine klare Vorstellung geben können.“ So beginnt der verdiente Jenaer Professor Ernst Häckel das fünfte Kapitel seiner gemeinverständlichen Studien über biologische Philosophie, betitelt: Die Lebenswunder, in welchen er vom Tode spricht. Ist Leben im tiefsten Grunde ein chemischer Vorgang, ein Stoffwechsel der lebendigen Substanz, ein unaufhörlicher Wechsel zwischen Aufbau und Zerfall der labilen Plasmamolekeln, so ist der Tod oder das Aufhören des Lebens ein Ausbleiben der Neubildung der zerstörten Plasmamolekeln.

Digitized by Google

Das Leben ist unsterblich geschaffen, sagt der bereits erwähnte Freiburger Zoologe Prof. August Weißmann. Die Einzelligen sind gewissermaßen unsterblich, d. h. sie entbehren eines natürlichen Todes, bei ihnen gibt es kein Altern, keinen in den normalen Entwicklungsgang des Individuums gehörigen Tod. Sie können wohl vernichtet werden durch äußere Agentien, wie Siedehitze, Gifte, Zerquetscht- oder Gefressenwerden und was dergleichen Katastrophen mehr sind, aber ein Teil der Individuen einer jeden Epoche entgeht diesem Schicksal und setzt sich fort in die kommenden Zeiten. Im dreizehnten seiner Vorträge über Descendenztheorie, in welchem er die Fortpflanzung der Einzelligen durch einfache Zweiteilung bespricht, sagt er, daß das auf solche Weise entstandene Tochterindividuum nur eine Fortsetzung des Mutterindividuums sei, „es enthält nicht nur die Hälfte der Substanz desselben, sondern auch die Struktur, und das Leben setzt sich unmittelbar von Mutter auf Tochter fort; die Tochter ist einfach die halbe Mutter, die sich nachträglich ergänzt, und die andere Hälfte der Mutter lebt auch als zweite Tochter weiter fort; nichts stirbt bei dieser Vermehrung. Man kann ja wohl sagen, die Tochter müsse die Hälfte ihres Körpers erst neu wieder bilden, sie sei deshalb eine neue Individualität und nicht die Fortsetzung der alten, folglich seien die Einzelligen auch nicht unsterblich; man kann spotten über die „unsterblichen“ Einzelligen, die heute immer noch die gleichen Individuen sind, welche schon vor Millionen von Jahren auf dieser Erde lebten, aber alle solche Argumentationen sind nur doktrinäre Spielereien mit den Begriffen „Individuum“ und „Unsterblichkeit“, welche doch eben in der Natur selbst nicht vorhanden, vielmehr nur menschliche Abstraktionen sind und deshalb nur relativen Wert besitzen können. Mein Satz von der potentiellen Unsterblichkeit der Einzelligen will nichts weiter, als der Wissenschaft zum Bewußtsein bringen, daß zwischen Einzelligen und Vielzelligen die Einführung des physiologischen, d. h. normalen Todes liegt, und diese Wahrheit wird durch keine Sophismen umgestoßen.“

Gerade die Volvocineen zeigen uns gewissermaßen genau die Stelle, an welcher der Tod einsetzte, wo er zuerst in die Lebewelt eingeführt wurde. Bei Pandorina, einem aus 16 grünen Algenzellen bestehenden kugeligen Gebilde, dessen Zellen untereinander völlig gleich sind und auch gleich funktionieren, gemeinsam zu ihrem Schutze eine Gallertmasse um sich ausscheiden, in welchem jedoch eine jede alle ihre körperlichen Funktionen selbständig vollzieht — also einer auf der Vorstufe zur Organismen-

Digitized by Google

bildung stehenden Kolonie grüner Pflanzenzellen — verhält es sich noch wie bei den Einzelligen, d. h. jede Zelle ist noch völlig selbständig, jede kann sich wieder zum Ganzen herausbilden, keine stirbt also aus physiologischen, im Entwicklungsgange der Dinge liegenden Gründen, sie ist in dem oben angegebenen Sinne „unsterblich". Will sich eine Pandorina geschlechtlich fortpflanzen, so löst sich die ganze Kolonie in ihre gleichwertigen 16 Zellen auf, diese verlassen die Gallertkugel, in welcher sie bis dahin eingesenkt waren und schwärmen mit Hilfe ihrer beiden Geißeln frei durch das Wasser hin, um eine andere ähnliche, ebenfalls frei schwärmende Zelle aufzusuchen und sich mit ihr zu kopulieren. Die beiden Schwärmzellen legen sich dann aneinander, ziehen die Geißeln ein, sinken infolgedessen zu Boden und verschmelzen vollständig miteinander, indem nicht nur ihre Zellkörper, sondern auch ihre Kerne sich vereinigen. Sie nehmen dabei eine kugelige Gestalt an, verlieren die Augenflecke, umgeben sich mit einer derben Zellhaut und ruhen so kürzere oder längere Zeit als Zygoten oder Dauersporen. Bei Erneuerung der für sie günstigen Lebensbedingungen entwickelt sich eine jede derselben durch Zellteilung wieder zu einer uns schon bekannten 16=zelligen Pandorinakolonie, welche aus der Kapsel hervorbricht, um aufs neue frei im Wasser umherzuschwärmen.

Anders bei Volvox, einer Verwandten der Pandorina, die bereits aus zweierlei Zellen besteht, von denen die einen klein sind, in großer Zahl die Wandung der großen Gallertkugel bilden und alle vegetativen, zur Erhaltung des Lebens nötigen Funktionen — außer der Fortpflanzung — verrichten. Es sind dies die somatischen Zellen des von der Einzellerkolonie durch Arbeitsteilung zum eigentlichen individuellen Organismus fortgeschrittenen niedrigsten Metazoons. Diese eigentlichen Körperzellen sind grün, haben einen roten „Augenfleck" und zwei Geißeln, stehen durch Ausläufer ihres Zellkörpers untereinander in Verbindung und vermögen durch ihre koordinierten Geißelschwingungen die ganze Kolonie in langsam rotierender Bewegung durch das Wasser zu wälzen. Wohl können auch sie, so lange die Kolonie noch jung ist, sich durch Teilung vermehren, aber sie können nicht wie die Zellen der Pandorina wieder eine ganze Kolonie hervorbringen, vielmehr nur ihresgleichen, d. h. nur wieder somatische oder Körperzellen. Die Erhaltung der Art, die Hervorbringung einer Tochterkolonie ist bei Volvox der zweiten, großen Art von Zellen, den Fortpflanzungszellen, vorbehalten, die in den mit wässeriger Flüssigkeit gefüllten Binnenraum der Gallertkugel hineinragen und keine Geißeln besitzen, also auch keinen

Digitized by Google

Anteil an den Schwimmbewegungen der somatischen Zellen nehmen. Gewöhnlich liegen mehrere dieser großen Fortpflanzungszellen in einer Volvoxkolonie. Sie wachsen zu einer ziemlich beträchtlichen Größe heran und sobald dies geschehen ist, schwärmen sie durch einen Riß der schlaff werdenden Gallertwand aus der Mutterkugel aus, um nun ein selbständiges Leben zu führen. Die Mutterkugel aber, die dann bloß noch aus somatischen Zellen besteht, ist nicht imstande neue Fortpflanzungszellen hervorzubringen, sie sinkt allmählich unter Verlust ihrer regelmäßigen Kugelgestalt zu Boden und stirbt ab.



Fig. 220. Gruppe von Kokospalmen bei Garut in Mitteljava. Typus einer die Meeresküsten bewohnenden Pflanze, deren Früchte für den Wassertransport durch die Meeresströmungen eingerichtet sind.

Bei Volvox haben wir also nicht nur eine Zellenansammlung, wie noch bei Pandorina, sondern zum ersten Male einen einheitlich geleiteten Zellenstaat, einen in Soma- oder Körper- und in generative oder Fortpflanzungszellen geschiedenen Organismus vor uns. Im Gegensatz zu Pandorina haben die meisten Zellen der Volvoxkolonie die Fähigkeit verloren, durch Teilung das Ganze wieder hervorzubringen; nur die wenigen Fortpflanzungszellen besitzen noch diese

Digitized by Google

Fähigkeit, haben dafür aber andere Funktionen, vor allem diejenigen der Fortbewegung gänzlich eingebüßt. Weil bei Volvox ein Gegensatz von Keimzellen und Körperzellen ausgebildet wurde, stirbt „das Individuum“ ab, wenn es seine Fortpflanzungszellen entlassen hat. „Nur der Körper ist sterblich im Sinne eines normalen Todes, die „Keimzellen“ besitzen die potentielle Unsterblichkeit der Einzelligen, und sie müssen sie ebenso gut wie jene besitzen, wenn nicht die Art aufhören soll zu existieren.“

„Der Grund, warum das Soma, der Körper, dem Tode verfallen muß, liegt einfach darin, daß jede Funktion und jedes Organ schwindet, wenn sie für die Erhaltung der betreffenden Lebensform überflüssig werden. Die Eigenschaft unbegrenzt weiter leben zu können ist für die Körperzellen und somit auch für den ganzen Körper überflüssig, da dieselben neue Keimzellen nicht hervorbringen können, nachdem die einmal vorhandenen abgelegt worden sind; damit hört das Individuum auf, Wert für die Erhaltung der Art zu besitzen. Was würde es der Art nützen, wenn die Volvoxkugeln, nachdem sie ihre Keimzellen zur Ausbildung gebracht und entlassen hätten, noch unbegrenzte Zeit weiterleben könnten? Offenbar haben ihre weiteren Schicksale keinen Einfluß mehr auf die Bestimmung oder Erhaltung der Arteigenschaften, und es ist gleichgültig für den weiteren Bestand der Art, ob und wie lange sie noch leben. So sind dem Soma also diejenigen Eigenschaften verloren gegangen, welche es bedingen, daß das Leben unter steter Vermehrung endlos weiter dauern kann.“

Erst bei den Vielzellern ist also nach dieser Lehre der Tod der Körperzellen als eine zweckmäßige „Anpassungserscheinung“ eingeführt worden als diese vielzelligen Organismen eine gewisse Komplikation des Baues erreicht hatten, mit welcher sich ihre ursprüngliche Unsterblichkeit nicht mehr vertrug. Nur auf einen kleinen Teil ihrer Zellen, auf die Keimzellen, lokalisierte sich die alte Unsterblichkeit. In ihnen und durch ihre Vermittlung ist das Leben ein ewiges, d. h. solange ewig bestehendes als die Lebensbedingungen für die Organismen nicht gestört werden. Sie lösen sich vom Individuum ab, um zunächst als einzellige Wesen wie in der Urzeit zu leben und nach vollzogener Befruchtung zu einem neuen mehrzelligen Wesen derselben Art auszuwachsen, während der mütterliche Organismus zu Grunde geht und in seine Bestandteile aufgelöst wird. Während alle somatischen Zellen, welche die gewöhnlichen Funktionen des Lebens unterhalten, sterben

Digitized by Google

und eine Leiche bilden, pflanzen sich die generativen Fortpflanzungszellen von Individuum zu Individuum fort, so daß sich lückenlos durch die Jahrmillionen Generation an Generation reiht. Besteht auch eine Kontinuität aller Lebenssubstanz, so wird sie in den Vielzellern bloß durch die Keimzellen vermittelt. Die Keimzellen allein kennen wie alle Einzeller den natürlichen Tod nicht. Sie, die heute unsere Zeitgenossen sind, stammen noch aus der Urzeit her als lebendige Zeugen einer hunderte von Millionen Jahren umfassenden Vergangenheit.

Diese Erklärung, die einer unserer hervorragendsten Zoologen, Prof. Weismann, in Freiburg gerade vor einem Vierteljahrhundert, nämlich im Jahre 1882, zum erstenmal auf der Versammlung der Naturforscher in Salzburg abgab, hat natürlich die Gelehrten vielfach beschäftigt, aber nicht allgemeine Anerkennung gefunden. Im Gegenteil scheinen sich heute die bedeutendsten Forscher ganz von dieser Theorie abgewandt zu haben. Als einer der gewichtigsten Sprecher derselben hat nicht nur Prof. Ernst Häckel in Jena, sondern auch Prof. Richard Hertwig in München sich dahin geäußert, daß nicht nur bei Vielzellern, sondern auch schon bei Einzellern der normale Tod dann eintritt, wenn die Grenze der erblichen Lebensdauer erreicht ist. Diese Grenze ist bei den mannigfaltigen Arten der Organismen sehr verschieden. Manche Einzeller, seien es Urtiere oder Urpflanzen, leben nur wenige Stunden, andere mehrere Monate oder Jahre. Viele einjährige Pflanzen und niedere Tiere leben in unserem gemäßigten Klima nur einen Sommer, in den zirkumpolaren Gebieten und auf den schneebedeckten Hochalpen nur wenige Wochen oder Monate. Dagegen werden größere Wirbeltiere nicht selten mehr als hundert Jahre, viele Bäume mehr als tausend Jahre alt. Die Länge der normalen Lebensdauer ist bei allen Arten im Laufe der Speziesbildung selbst durch die Anpassung an die besonderen Lebensbedingungen erworben und dann durch Vererbung auf ihre Nachkommen übertragen worden.

Ein jeder Organismus wird wie eine Maschine mit der Zeit abgenützt. Werden auch Teile desselben stetsfort regeniert, so nimmt dennoch die Leistungsfähigkeit immer mehr ab, bis schließlich das Ganze den Dienst versagt und dem Tode verfällt. In einer im Dezember 1906 erschienenen Arbeit über die Ursache des Todes faßt nun der letztgenannte Autor das Ergebnis seiner diesbezüglichen Studien in den Ausspruch zusammen: „Es ist das Ausüben der Lebensfunktion, welches zur Zerstörung führt, und je nach den Bedingungen, unter denen sich

Digitized by Google

das Leben abspinnt, den Partialtod einzelner Zellteile oder ganzer Zellgruppen, oder den Allgemeintod des Organismus zur Folge hat. Der Organismus verbraucht sich wie eine Maschine; er bedarf daher wie diese fortdauernder Reparatur, nur mit dem Unterschied, daß der Organismus nicht nur Maschine ist, sondern zugleich auch der Mechaniker, welcher die Ausbesserungen zu besorgen hat. Wollen wir tiefgreifende Schäden an unseren Maschinen ausbessern, so stellen wir sie außer Dienst. In beschränktem Maße ist eine solche Ruhestellung bei einfacheren Organismen möglich. Bei höheren Organismen ist das nicht angänglich, sie sind gezwungen rastlos das Leben fortzuführen. Und so werden die höchsten Leistungen des Lebens zugleich zu den schärfsten Waffen des Todes."

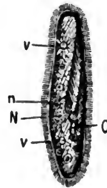


Fig. 221. Das Infusorium Paramäcium, o Mund, N Großkern, n Kleinkern, v pulsierende Vakuolen.

Es ist eine von verschiedenen deutschen, französischen und amerikanischen Forschern festgestellte Tatsache, daß alle Kulturen von Protozoen, auch wenn sie unter den günstigsten Lebensverhältnissen gehalten werden, aus inneren Gründen, nachdem sie sich lebhaft ernährt und vermehrt haben, zeitweilig ihre Funktionen einstellen oder einschränken, um ihre Zellenbestandteile zu reorganisieren. So hat Prof. Hertwig im Laufe der letzten 18 Jahre viele Kulturen solcher Einzeller vorgenommen und sorgfältig durchgeführt und ist dabei stets zu denselben Ergebnissen gelangt. Er schreibt darüber: „Ich will zunächst den Verlauf einer solchen Kultur schildern und wähle dazu ein leicht zu erhaltendes und leicht zu züchtendes Infusor mit Namen Paramäcium. Dasselbe lebt in faulenden Flüssigkeiten und ernährt sich von Fäulnisbakterien, es ist groß genug, um mit unbewaffnetem Auge erkannt zu werden, und schwimmt mit lebhaft schlagenden Wimpern geschickt im Wasser. Bei mäßiger Zimmertemperatur teilt sich das Tier im Mittel einmal am Tage. Würde man mit vier Tieren die Kultur beginnen, so würde man schon am vierzehnten Tage 32,768 Individuen zu füttern und behufs exakter Angaben über die Vermehrungsfähigkeit zu zählen haben. Das ist undurchführbar. Daher muß man in kurzen Zwischenräumen die Zahl der Tiere durch Abtöten auf wenige Exemplare einschränken. Mit Hilfe einer derartig exakt geführten Kultur kommt man zum Resultat, daß die Vermehrungsrate, welche wir im Mittel auf

20*

Digitized by Google

eine Teilung pro Tag bestimmt haben, auch bei Anwendung konstanter Temperaturen sich nicht gleich bleibt, sondern daß Perioden erhöhter und herabgesetzter Teilfähigkeit miteinander wechseln. Es kommt vor, daß die Teilfähigkeit tage- und wochenlang ganz erlischt. In dieser Zeit nehmen die Infusorien keine Nahrung auf, liegen träge am Boden des Kulturgefäßes und lassen somit eine stark herabgesetzte Lebensenergie erkennen. Wir wollen derartige Zustände Depressionen nennen; sie werden von den Tieren überwunden und Nahrungsaufnahme und Teilungen beginnen von neuem. Je länger die Kultur andauert, um so häufiger werden die Depressionen, um so länger dauern sie. Bei manchen Individuen geht die Herabsetzung der Lebenstätigkeit in den Tod über und schließlich stirbt in einer besonders tiefen Depression die Kultur auch bei der sorgsamsten Pflege aus.

Legen wir uns nun die Frage vor, welche inneren Vorgänge dem so auffallenden Wechsel in den Lebenserscheinungen zu Grunde liegen. Ich muß hierbei etwas weiter ausholen und mit einem Fundamentalversuche beginnen, der für unsere weiteren Betrachtungen von der allergrößten Bedeutung ist. Wie die Zellen, so bestehen auch die den Formenwert einer einzigen Zelle besitzenden Protozoen aus zwei Bestandteilen, aus der Zellensubstanz oder dem Protoplasma und einem dem Protoplasma eingelagerten, ebenfalls organisierten Körper, dem Zellkern. Was das Protoplasma leistet, läßt sich ohne Schwierigkeit ermitteln, es bildet bei den Amöben die Scheinfüßchen oder Pseudopodien, bei andern Urtieren, den Infusorien, die Geißeln und Wimpern, alles Organe der Fortbewegung und Empfindung; es nimmt Nahrung auf und verdaut sie, baut, sofern sie der Art zukommen, die Skelette und Gehäuse auf und erzeugt vielerlei Einrichtungen, die an die Organe höherer Tiere erinnern. Wozu dient nun der Kern? Um seine Bedeutung zu ermitteln, zerschneiden wir ein Urtier, z. B. eine Amöbe, in zwei Stücke, ein kernhaltiges und ein kernloses. Beide bleiben zunächst am Leben und kriechen weiter. Das kernhaltige Stück verdaut das in ihm enthaltene Futter, nimmt neue Nahrung auf und wächst heran, so daß bald der Substanzverlust ausgeglichen ist. Ganz anders verhält sich das kernlose Stück; es wirft alles aufgenommene Futter heraus, weil es nicht mehr verdauen kann; es hat auch die Fähigkeit verloren, neue Nahrung aufzunehmen, ebenso die Fähigkeit verloren, die Klebstoffe zu bilden, mit denen sich Amöben an ihrer Unterlage festkleben; alle organisatorische Kraft ist aus ihm gewichen, und so geht es aus Hunger zugrunde. Würden wir unser Experiment an anderen,

Digitized by Google

komplizierter gebauten Protozoen wiederholen, so würden wir zu gleichem Resultat gelangen, daß zur Ernährung, zum Wachstum und zu allen organisatorischen Vorgängen das Protoplasma der Mithilfe des Kerns bedarf; alle genannten Vorgänge setzen einen Stoffaustausch zwischen Kern und Protoplasma voraus. Damit hängt es auch zusammen, daß zwischen Kern und Protoplasma ein bestimmtes Massenverhältnis, eine bestimmte Kernplasma-Relation, vorliegt. Wir wollen den mittleren Zustand dieses Größenverhältnisses die Kernplasma-Norm nennen.

Untersuchen wir nun Paramäcien aus verschiedenen Stadien unserer Kultur, so finden wir in den Zeiten der Depression das Massenverhältnis von Kern zu Protoplasma verändert, den Kern stark vergrößert, bei tiefen Depressionen so stark vergrößert, daß er einen großen Teil der Zelle erfüllt. Wird die Depression rückgängig gemacht und erwachen die Tiere zu neuem Leben, so geschieht es in der Weise, daß der Kern zum Teil eingeschmolzen und verkleinert wird. Um diesen Prozeß zu begünstigen, zerfällt der Kern zuvor in kleine Stücke. Um funktionstüchtig zu bleiben, müssen die Infusorien somit gewisse die Funktion schädigende Teile zerstören. Damit begegnen wir zum erstenmal der Erscheinung, daß Teile zugrunde gehen müssen, um dem Ganzen das Leben zu ermöglichen. Es sind dies die ersten Anfänge einer Erscheinung, die für uns von der größten Wichtigkeit werden wird und die wir den Partialtod der Zelle nennen wollen. Ist das Infusor zu schwach, um den geschilderten Verjüngungsprozeß zu Ende zu führen, so dehnt sich der Tod allmählich auf seinen gesamten Körper aus. Der Partialtod wird zum Gesamttod.

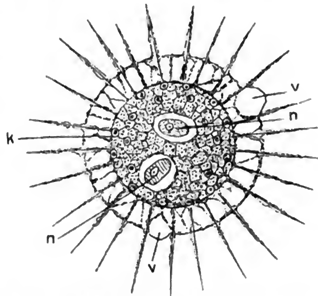


Fig. 222. Der Süßwasserprotozoe Actinosphaerium Eichhorni k Kern, v Vakuolen, n aufgenommene Nahrung (nach R. Hertwig).

In aller Kürze möchte ich den analogen Lebenszyklus für eine unserer schönsten Süßwasserprotozoen, das Sonnentierchen, Actinosphaerium Eichhorni, schildern. Es heißt Strahlenkugel

Digitized by Google

(Actinosphaerium) wegen seines kugeligen Körpers, von dem wie Sonnenstrahlen die Scheinfüßchen entspringen. Bei monatelanger Kultur wechseln auch hier Zeiten von fortschreitender Entwicklung mit Zeiten der Depression. Wochenlang wimmeln die Zuchtaquarien trotz aller Einschränkungen der Kulter durch Abtöten von Hunderten von Tieren, die strotzend von Nahrung gefüllt sind; dann treten Tage auf, in denen die Tiere bei reichlich vorhandenem Futtermaterial völlig nahrungsfrei sind; viele sterben ab, wenige überdauern die Zeit der Depression; diese beginnen dann lebhaft zu fressen und sich zu teilen, so daß die Zucht sich bald wieder in alter Blüte befindet. Wiederholen sich derartige Depressionen häufiger, so nimmt schließlich eine derselben einen so schweren Charakter an, daß die ganze Kultur ausstirbt.

Actinosphärium hat viele kleine Kerne. In Depressionszuständen sind dieselben nur wenig vergrößert, aber enorm an Zahl vermehrt. Um dieses Anwachsen zu verhindern, werden in Mengen Kerne zerstört und ihre Reste ausgestoßen. Auf diese Weise wird das Tier wieder funktionsfähig gemacht. Allmählich wird jedoch ein Zustand erreicht, wo zwar die Kernsubstanz zunimmt, die Kerne aber sich nicht mehr teilen können; dann wird ein Teil von ihnen aufgelöst, andere wachsen riesenhaft heran. Es können dabei Kerne entstehen, die dreitausendmal soviel Inhalt haben wie die normalen Kerne. Derartige großkernige Actinosphärien lassen sich auch im lebenden Zustande leicht herauserkennen. Man kann sie in gesunde Kulturen überführen und dabei feststellen, daß die Tiere der gesunden Kultur auch weiterhin gesund bleiben, daß daher die ganz absonderlichen Erscheinungen nicht Folgen einer infektiösen Krankheit sein können.

Durch unsere Erfahrungen an Protozoenkulturen sind wir vor große Schwierigkeiten gestellt. Unsere Erfahrungen lehren, daß Protozoen, unter andauernd günstige Ernährungsbedingungen gebracht, schließlich zugrunde gehen. Durch die ununterbrochene Ausübung der Lebensfunktionen wird eine so hochgradige Störung im Gleichgewicht der Zellteile erzielt, daß ein dauernder Stillstand der Lebensfunktionen erzielt wird, und das ist der Tod. Mit diesen Erfahrungen steht aber die Tatsache in Widerspruch, daß Paramäcien und Actinosphärien alljährlich zu Tausenden in unseren Tümpeln auftreten. Beide Arten wurden zum erstenmal vor 150 Jahren beschrieben. Da wir keine andere Vermehrung als die durch Teilung kennen, müssen unsere jetzigen Formen sich auf dem Weg der Teilung aus den Formen, welche vor Jahrhunderten lebten, entwickelt haben. Das würde

Digitized by Google

uns wieder zwingen, die Weismannsche Unsterblichkeitslehre anzunehmen.

Die Erklärung ergibt sich aus der Verschiedenheit der Existenzbedingungen, welche in der Natur gegeben sind und welche in unseren Kulturen eingeführt wurden. Ein paar Zahlen werden das erläutern. In einer seiner bestgeführten Kulturen ist es dem Amerikaner Calkins geglückt, Paramäcium bis zur 742. Generation zu züchten. Hätte der Forscher die Möglichkeit gehabt, alle Individuen am Leben zu lassen, so würde die Menge derselben eine 224stellige Zahl haben. Obwohl nun jedes Paramäcium nur das Volumen von $^1/_{10000}$ cbmm hat, würde die riesige Zahl doch eine Masse ergeben, gegen welche das Volumen unserer Erde ganz verschwände. Damit ist allein schon gesagt, daß in der Natur etwas ähnliches, wie wir es durch unsere Kulturen erzielen, nicht vorkommen kann. Bei parasitischen Protozoen, besonders bei Blutparasiten, scheint allerdings eine Annäherung an unsere künstlichen Kulturbedingungen vorkommen zu können; denn hier ist der Wirt bemüht, schon im eigenen Interesse, durch beständige Neubildung der Blutkörperchen dem Parasiten neue Nahrung zu liefern. Dadurch ermöglicht er es demselben, in ununterbrochener Reihenfolge am gleichen Ort viele Generationen hintereinander zu erzeugen. Es ist bekannt, daß die berüchtigte Malaria, das Wechselfieber, durch derartige einzellige Blutparasiten hervorgerufen wird, Parasiten, die sich in ganz riesenhafter Weise vermehren. Es kommt nun vor, daß die Malaria ganz von selbst ausheilt, weil alle Parasiten absterben; es kommt aber auch vor, daß die Ausheilung eine nur scheinbare ist, daß die Krankheit ohne abermalige Infektion neu aufflackert. Die Medizin nennt diese Erscheinung das Malariarecidiv. Letzteres ist nur dadurch möglich, daß Parasiten längere Zeit ein kümmerliches Leben geführt und allmählich wieder neue Vermehrungskraft gewonnen haben. Das alles erinnert ganz außerordentlich an die besprochenen Depressionszustände freilebender Protozoen, während deren dieselben ganz aussterben oder aussterben mit Hinterlassung weniger Individuen. Noch mehr werden wir an Depressionserscheinungen erinnert durch die Art, wie die Rückkehr zu erneuter Tätigkeit vermittelt wird. Durch Beobachtung ist festgestellt worden, daß dabei unbrauchbar gewordene Kernteile wie bei unseren Protozoenkulturen aus dem Körper entfernt werden! Nun muß man allerdings damit rechnen, daß das Aussterben der Krankheitserreger auch durch sogenannte Antikörper, vom Kranken gebildete Schutzstoffe, herbeigeführt werden kann. Wahrscheinlich

Digitized by Google

kommen bei den besprochenen Erscheinungen beide Momente in Betracht.

In der freien Natur, in unseren Tümpeln und Weihern ist es ganz ausgeschlossen, daß jemals eine über viele Monate sich hinziehende Vermehrung von Protozoen entstehen kann. Ehe es soweit kommt, haben sich die Temperatur- und Ernährungsbedingungen vollkommen verschoben. Die sich vermehrenden Tiere, mögen sie auch von Feinden dezimiert werden, haben das vorhandene Nahrungsmaterial aufgebraucht. Hungersnot bricht aus, oder die Temperatur des Wassers ist gesunken. Durch beides werden neue Vorgänge ausgelöst, welche in ihren Konsequenzen zu einer Verjüngung der alternden Tiere führen. Diese bei Protozoen weit verbreiteten Vorgänge sind Encystierung und Konjugation, letztere ein Vorgang, welcher mit der Befruchtung der vielzelligen Tiere identisch ist. Ich will zunächst die Vorgänge schildern und dann auseinandersetzen, in welcher Weise sie in das Leben der Protozoen verändernd eingreifen und für unser Problem von Bedeutung werden.

Unter Encystierung verstehen wir die Erscheinung, daß Protozoen sich zusammenkugeln und sich mit einer festen Hülle umgeben, welche sie vor dem Eintrocknen schützt und Ursache wird, daß auf das Land geratene Tiere wie Atmosphärilien von Wind und Wetter verschleppt werden können. Kommen sie dann von neuem ins Wasser, so fangen sie an zu keimen, d. h. die Tiere kriechen aus den Cysten aus und beginnen ein neues Leben.

Die Befruchtungsvorgänge der Protozoen sind so unendlich variiert, daß ich mich mit einem kurzen Überblick begnügen muß. Allen Vorgängen gemeinsam ist, daß zwei Tiere sich vereinigen und daß dann ihre Kerne miteinander verschmelzen, genau so, wie es bei der Befruchtung vielzelliger Tiere der Fall ist, wo zwar nicht die Tiere, wohl aber ihre Geschlechtszellen, die Eier und Spermatozoen, verschmelzen, Körper mit Körper, Kern mit Kern. Bei den Protozoen können nun Tiere miteinander verschmelzen, die einander vollkommen gleich sind, so daß bei diesen niedersten Anfängen der Befruchtung die Unterschiede männlich und weiblich ganz in Wegfall kommen. Es kann aber auch eine ausgesprochene geschlechtliche Differenzierung vorhanden sein, indem kleinere, äußerst bewegliche Elemente, die den Samenfäden gleichen, die größeren, den Eiern vergleichbaren Tiere befruchten.

Encystierung und Befruchtung haben eine ähnliche Wirkung auf den Organismus und sind daher oft kombiniert. An solche kombinierte Fälle will ich mich im Interesse einer kurzen Darstellung halten.

Digitized by Google

Wenn Actinosphärien sich encystieren, so sterben von den vielen Kernen 95 Prozent ab und werden aufgelöst; die fünf Prozent, welche dann übrig bleiben, werden zum Aufbau der Befruchtungskörper benutzt. Auch von diesen werden weitere Dreiviertel der Kernmasse zerstört. Diese fast 99 Prozent Kernsubstanz repräsentieren eine ganz ansehnliche Leiche, nur daß man von ihr nichts merkt, weil das Tote allmählich vom lebenbleibenden Rest verzehrt wird.

Noch deutlicher tritt uns der Partialtod, und zwar in einer dauernd sichtbaren Weise, bei sehr interessanten parasitischen Protozoen, den Gregarinen, entgegen. Hier encystieren sich behufs späterer Befruchtung zwei Tiere gemeinsam. In jedem Tier tritt eine Sonderung ein in einen absterbenden Teil und einen Teil, der am Leben bleibt. Letzterer liefert die zur Befruchtung dienenden Körper, ersterer bleibt als eine tote Masse zurück.

Zum Schluß muß ich noch ein drittes Beispiel hier anführen, weil es zwei Punkte von besonderem Interesse bietet. Einmal ist hier der Unterschied von absterbenden und zur Weiterentwicklung dienenden Teilen von langer Hand vorbereitet, zweitens gibt uns der physiologische Charakter des absterbenden Teiles einen Fingerzeig, was wohl die Ursache des Partialtodes sein mag. Unser drittes Beispiel ist die Befruchtung von Paramäcium, derselben Art, welche uns zu unseren Kulturversuchen gedient hatte.

Bei meinen Erörterungen über die im Laufe der Kultur auftretenden Veränderungen von Paramäcium hatte ich immer nur von einem Kern geredet, den man den Hauptkern oder Makronucleus nennt. Da er während der verschiedenen Zustände der Depression und Reorganisation ein verändertes Bild zeigt, kann man mit Sicherheit sagen, daß er es ist, welcher sich an den Stoffwechselvorgängen des Paramäcium beteiligt. Wir können ihn daher den funktionierenden Kern nennen. Neben dem Hauptkern liegt ein kleinerer Kern, der Nebenkern oder Mikronucleus, der sich zwar bei den Teilungen des Infusors ebenfalls teilt, sonst aber eine sehr indifferente Rolle spielt. Bei der Betrachtung der Konjugation kommen wir nun zum Resultat, daß der funktionierende oder Hauptkern vollkommen zugrunde geht; er zerfällt in Stücke, die nach und nach vollkommen aufgelöst werden. Die Befruchtung wird ausschließlich durch den kleineren Kern bewirkt, den wir daher auch den Geschlechtskern nennen. Die Befruchtung ist viel zu kompliziert, als daß ich sie schildern könnte. Es genüge zu sagen, daß der befruchtete Geschlechtskern sich teilt und zwei Kerne liefert,

Digitized by Google

einen, der wieder zum Geschlechtskern wird, einen anderen, der den funktionierenden Kern liefert. Bei der Befruchtung wird somit der funktionierende Kern eines Infusors vernichtet und durch einen neuen ersetzt. Wir können somit unsere Erfahrungen über den Partialtod der Zelle durch den Satz bereichern: Es sind die funktionierenden Teile der Zelle, welche vom Tod betroffen werden.

Zugleich besitzen wir nunmehr den Schlüssel, um den Unterschied zwischen unseren künstlichen Kulturen und dem Ablauf der Lebenserscheinungen in der Natur zu verstehen. Durch die andauernde Gunst der Kulturbedingungen haben wir Encystierung und Befruchtung ausgeschaltet und den Organismus der wichtigsten Mittel der Reorganisation beraubt. Und so entstand das zeitweilige Ausbessern am Kern, welches ich Ihnen von den Depressionszuständen geschildert habe, eine kleinliche Flickarbeit im Vergleich zu dem Radikalmittel der Natur, einen völlig neuen Kern zu schaffen.

Nachdem wir eine genaue Kenntnis vom Partialtod der Protozoen gewonnen haben, wird es uns nicht schwer fallen, auch die zweite Frage zu beantworten: Wie steht es mit der Unsterblichkeit der Geschlechtszellen vielzelliger Tiere?

Weismann hatte angegeben und ich hatte mich zunächst seiner Darstellung angeschlossen, daß die Fortpflanzungszellen der lebenden Tiere und die Fortpflanzungszellen der Tiere früherer Jahrhunderte sich zu einer fortlaufenden Reihe anordnen lassen, in welcher jedes Glied aus einem vorangegangenen Glied durch Teilung entstanden sei, so daß wir uns die Genese der Geschlechtszellen als eine seit undenklichen Zeiten fortlaufende Reihe von Zellteilungen vorstellen können. Wir müssen nun aber die Verhältnisse etwas genauer darstellen. Wir beginnen mit dem Moment, wo in einem Embryo die Anlage der Geschlechtsorgane sichtbar geworden ist, als eine Zelle oder als ein Haufen von Zellen. Wir nennen sie Ureier. Sie vermehren sich durch fortgesetzte Teilung, um so lebhafter, je größer die Fruchtbarkeit der Art ist. Auf diese Vermehrungsperiode der Ureier folgt stets die Wachstumsperiode. Die Teilungsfähigkeit der Ureier hört auf; aber nicht die Fähigkeit der Nahrungsaufnahme, was zur Folge hat, daß nun das Ei anfängt, enorm zu wachsen, sowohl der Körper des Eies als auch der Kern. Beide gewinnen für eine Zelle ganz riesige Dimensionen. Schließlich kommt auch das Wachstum zum Stillstand.

Dieser ganze Vorgang hat eine große Ähnlichkeit mit den Depressionszuständen der Protozoen und ähnlich ist auch der weitere Verlauf.

Digitized by Google

Er führt entweder zum Untergang oder zur Reorganisation der Zelle. Bei letzterer geht der Riesenkern zugrunde bis auf kleine Reste, die einen neuen Kern bilden. Wie gewaltig der Unterschied beider Kerne ist, wie viel Kerne dem partiellen Tod verfallen sind, zeigt eine Nebeneinanderstellung eines unreifen und eines reifen Eies. Nur das Reifei vermag sich weiter zu entwickeln, sei es nach vorausgegangener Befruchtung, sei es aus eigenem Antrieb parthenogenetisch. — Für das Ei, welches Material für einen Organismus liefern soll und daher groß sein muß, wäre die Wachstumsperiode als eine zweckmäßige Einrichtung leicht verständlich; aber sie tritt auch in prinzipiell gleicher Weise, nur mit dem Unterschied, daß das Wachstum gering ausfällt, während der Entwicklung der Samenfäden auf, dieser kleinsten Elemente des tierischen Körpers; sie muß also eine in den Wachstumsgesetzen der Zelle tiefer begründete Ursache haben, und diese Ursache erblickte ich in der Notwendigkeit, nach lang laufenden Teilungen durch den partiellen Tod die Zelle zu reorganisieren.

Wenn wir uns jetzt dem letzten Abschnitt unserer Aufgabe zuwenden und das Problem des Todes für die mit den Lebensfunktionen betrauten Zellen des Organismus erörtern, für den Teil, welchen Weismann als Körper im engeren Sinn als „Soma" bezeichnet hat, welcher allein nach seiner Ansicht dem Tod verfallen sein soll, so sind wir hier in eine schwierige Lage versetzt, schwierig zunächst mit Rücksicht auf die Unvollkommenheit unseres Wissens. Die genaue Kenntnis vom Ablauf der Lebenserscheinungen, wie wir sie in den letzten Dezennien für die Urtiere gewonnen haben, besitzen wir noch von keinem vielzelligen Tier, auch noch von keiner höheren Pflanze, weil den Untersuchungen hier große Schwierigkeiten entgegenstehen, um so größere Schwierigkeiten, je höher die Organisationsstufe ist. Für viele Tiergruppen lassen uns sogar alle Erfahrungen im Stich.

Eine zweite Schwierigkeit erwächst uns bei einer auf knappen Raum bemessenen Darstellung aus der ungeheuren Mannigfaltigkeit der Organisationsformen, welche von den einfachsten vielzelligen Tieren, den Schwämmen und Polypen, bis hinauf zum Menschen eine geradezu unerschöpfliche Reihe von Mittelstufen bildet. Ich werde diese Schwierigkeit zu umgehen suchen, indem ich nur die Anfänge und die Enden der Reihe herausgreife.

An den Anfang der Reihe haben wir Schwämme, Polypen, Korallen, viele Würmer und die meisten höheren Pflanzen zu stellen;

Digitized by Google

sie zeigen in den Lebenserscheinungen ihrer Zellen noch eine große Ähnlichkeit mit den Protozoen und besitzen wie diese eine nahezu unbegrenzt erscheinende Vermehrungsfähigkeit ihrer Zellen. Sie benutzen dieselbe zu der sogenannten vegetativen Fortpflanzung. Vermöge lokaler Zellwucherungen bildet unser Süßwasserpolyp Knospen, welche sich ablösen und wieder neue Knospen erzeugen. Bei den im Meer lebenden Polypen bleiben die Knospen mit dem Muttertier vereint und erzeugen Kolonien. Durch fortgesetzte Knospung wird es den Korallenpolypen ermöglicht, die mächtigen, von Seefahrern gefürchteten Riffe zu erzeugen. In ähnlicher Weise fügen durch fortgesetzte Zellteilung viele Pflanzen Zweig an Zweig und wachsen zum Baume heran. Es entstehen die tausendjährigen Riesen der Adansonien, die den Eindruck erwecken, als seien sie für die Ewigkeit geschaffen. In der Tat hat man auch bisher keine Anhaltspunkte für die Ansicht gefunden, daß derartige Bäume aus inneren Gründen absterben und somit dem natürlichen Tod im Sinne Weismanns verfallen sind. Wenn sie zugrunde gehen, sind offenbar äußere Ursachen daran schuld, Parasiten, die ihren Körper zerstören, Stürme, denen ihr gewaltiger Bau eine zu große Angriffsfläche bietet. Man kann nun in vielen Fällen diese schädigenden äußeren Einflüsse ausschließen und das Weiterleben der Pflanze in beschränkten Raumverhältnissen und einigermaßen geschützt gegen Parasiten ermöglichen, indem man ihr Stecklinge oder unterirdische Pflanzenteile wie Knollen, Zwiebeln entnimmt und sich weiter entwickeln läßt. Der Laie wird zwar hierin die Erzeugung neuer Pflanzen erblicken; tatsächlich haben wir aber nur Körperteile einer alten Pflanze unter günstige neue Wachstumsbedingungen gebracht. Es sind keine neuen Pflanzen in dem Sinne, wie es Pflanzen sind, welche aus dem Samen gezogen werden. Die herrschende Auffassung der Botaniker geht nun dahin, daß man durch die genannten vegetativen Vermehrungsweisen, ebenso wie bei den Protozoen durch Teilung, eine dauernde Verbreitung und Erhaltung der Art erzielen kann. Für niedere vielzellige Tiere wird dies von den Zoologen bezweifelt. Züchtet man Süßwasserpolypen über lange Zeiträume, so treten ganz ähnlich den Protozoen zeitweilige Depressionszustände ein, aus denen sie sich nur durch Reorganisation ihrer Zellen wieder herausarbeiten können. Es scheint, als ob derartige Zustände immer wieder die geschlechtliche Fortpflanzung auslösen. Indessen wissen wir über alle diese Dinge zu wenig. Die vegetative Fortpflanzung der niederen Tiere hat nicht das große praktische Interesse, welches die vegetative Fortpflanzung der Pflanzen für alle

Digitized by Google

Züchter besitzt. Wir wollen uns daher in unseren weiteren Betrachtungen auf die Pflanzen beschränken.

Nach dem, was ich über die herrschende Auffassung der Botaniker gesagt habe, könnte es nun scheinen, als ob die Unsterblichkeitslehre Weismanns, die ich für Protozoen bekämpft habe, nun in ganz unerwarteterweise für einen großen Teil der vielzelligen Pflanzen und Tiere ihre Bestätigung fände. Dieser Schluß wäre verfrüht. Würde die vegetative Vermehrung, diese ununterbrochene Teilung somatischer Zellen, allein schon ausreichen, um die Existenz der Art für alle Zeiten gegen das Aussterben zu sichern, wozu wäre dann die geschlechtliche Fortpflanzung da, welche neben der vegetativen bei allen Pflanzen und Pflanzentieren in solcher Verbreitung vorkommt. Noch wichtiger ist ein zweiter Einwand. Verfolgen wir die vegetativen Vermehrungen näher, so begegnen wir auch hier den Spuren des Todes, und zwar abermals in derselben Form, wie wir sie schon von den Urtieren kennen, in der Form des Partialtodes. In unzweideutiger Weise tritt uns dieser Tod bei den Pflanzen entgegen. Unsere einheimischen Pflanzen werfen mit beginnendem Winter ihre wichtigsten Funktionsträger, die Blätter, ab, auch wenn wir sie im Warmhaus kultivieren; die ganze Pflanze verfällt in einen Zustand der Ruhe, des Pausierens aller Lebensfunktionen, aus dem sie erst nach längerer Zeit neu erwacht. Nun gibt es zwar auch immergrüne Gewächse, die meisten tropischen Pflanzen und die Nadelhölzer, aber auch hier ist das dauernde Bestehen der Blätter und Nadeln nur scheinbar, indem die vorhandenen in wenig auffälliger Weise abfallen und durch neue ersetzt werden. Noch offenkundiger tritt uns der partielle Tod bei den durch Zwiebeln und Knollen sich vermehrenden Pflanzen entgegen, indem hier ansehnliche Teile, die gesamte oberirdische Pflanze, zugrunde gehen. Und so erweitert der Tod bei den vielzelligen Pflanzen und Tieren beständig seine Domäne, indem nicht mehr Zellteile, sondern ganze Zellen und Zellengruppen durch Ausübung der Lebensfunktionen den Todeskeim in sich aufnehmen.

Ich wende mich zu dem anderen Ende der Stufenleiter, zu den höheren Tieren, den Gliedertieren, Weich- und Wirbeltieren, den Tieren, für die es gar nicht zweifelhaft sein kann, daß sie dem natürlichen Tode unterworfen sind, und daß bei ihnen der Tod den Organismus in allen seinen Teilen in verhältnismäßig kurzer Zeit überwältigt. Wir stehen hier vor der Frage, welche Faktoren sind für diesen Unterschied maßgebend, welche Abänderungen hat der Lebensprozeß erfahren, daß

Digitized by Google

er wie ein Kerzenlicht ausgeblasen werden kann oder, richtiger gesagt, innerhalb kurzer Zeit in sich erlischt.

Ich gehe von einem kurzen Abriß des Lebenszyklus eines höheren Tieres aus und wähle dazu den Menschen. Der Mensch entsteht aus einem Ei, dessen Durchmesser noch nicht $^2/_{10}$ mm erreicht, dessen Volumen daher ungefähr $^4/_{1000}$ cbmm beträgt. Zur Zeit seiner Geburt repräsentiert der Mensch einen Körper, dessen Volumen im Mittel 3—4 Millionen Kubikmillimeter ausmacht. Während der neun Monate seines Embryonallebens hat er somit eine Vermehrung seiner lebenden Substanz im Verhältnis von 1 : 1 Milliarde erfahren. Mit ungefähr 20 Jahren ist der Mensch ausgewachsen; nehmen wir an, er besäße um diese Zeit ein Gewicht von 130 Pfund, so hätte er nach der Geburt seinen Körper im Verhältnis von 1 : 16 vergrößert. Das Wachstum eines lebenden Körpers beruht in letzter Instanz auf der Teilung seiner Zellen. Aus dem verschiedenen Wachstum können wir daher auf eine verschiedene Lebhaftigkeit der Teilungen einen Rückschluß machen. Wir stehen hier gewaltigen Unterschieden im embryonalen und postembryonalen Leben gegenüber. Im Embryonalleben eine Teilungsintensität, die durch das Verhältnis 1 : 1 Milliarde in neun Monaten illustriert wird, postembryonal einer Teilungsintensität mit dem Verhältnis 1 : 16 auf 20 Jahre verteilt. Würden wir kleinere Abschnitte aus dem Embryonalleben oder auch aus der postembryonalen Wachstumsperiode herausgreifen und mit früheren oder späteren Abschnitten vergleichen, so würden wir immer wieder das Ergebnis erhalten, daß die jeweiligen früheren Abschnitte eine energischere Tätigkeit besitzen als die späteren.

Das Gesamtergebnis wäre somit folgendes: Die Teilungsenergie der Zellen ist am größten kurz nach der Befruchtung, von da an nimmt sie mehr und mehr ab, zunächst langsam, später rasch, bis mit beendetem Wachstum auch die Zellvermehrung im wesentlichen zur Ruhe gelangt; sie dauert in ganz geringem Maße noch fort, vornehmlich an Stellen, wo Zellen und Organteile verbraucht und durch neue ersetzt werden müssen, so vor allem im Bereich der Haut und der Hautanhänge, der Nägel und Haare.

Ich brauche kaum hervorzuheben, welch gewaltiger Unterschied hier besteht zwischen der mehr oder minder ununterbrochenen Zellvermehrung eines Protozoen, eines Cölenteraten oder einer Pflanze und dem allmählichen Abklingen der Zellteilung bei einem Menschen oder irgend einem anderen höher organisierten Tier. Wir stehen hier vor einer ganz anderen Art des Zellenlebens als bisher. Gleichzeitig

Digitized by Google

tritt uns hier der Tod als Gesamttod entgegen, der früher oder später mit unerbittlicher Notwendigkeit die Lebewesen dahinrafft. Es liegt daher nahe, an einen inneren Zusammenhang beider Erscheinungen zu denken und diesem Problem weiter nachzugehen: Wie kann das veränderte Zellwachstum mit den Ursachen des Todes in Zusammenhang gebracht werden.

Man könnte den Stillstand des Wachstums oder, was dasselbe besagen will, das Aufhören der Zellteilung auf eine Abnahme an Lebensenergie zurückführen, auf eine Art Depressionszustand, der sich von den ähnlichen Erscheinungen der Protozoen nur dadurch unterscheiden würde, daß er nicht wieder rückgängig gemacht werden kann. Dieser Erklärung widerspricht aber die Tatsache, daß erst nach beendetem Wachstum die Leistungsfähigkeit des Organismus ihren Höhepunkt erreicht und daß ein langer Lebensabschnitt dem Wachstumsstillstand folgt, ehe der Tod eintritt. Derselbe beträgt beim Menschen ungefähr das Dreifache; bei vielen Säugetieren und Vögeln das Zwanzig- bis Hundertfache der Wachstumsperiode.

Man könnte ferner in einem Mangel an genügender Ernährung den Grund des Wachstumsstillstandes erblicken. Allein wir wissen, daß schlechte Ernährung das Wachstum eines Menschen zwar beeinflußt, aber doch nicht in dem Maße, daß für großen Wuchs angelegte Individuen nun klein blieben, sie werden nur schwächlich; und umgekehrt genügt die beste Ernährung nicht, um von Natur aus kleinwüchsige Menschen stark heranwachsen zu lassen. Ein weiterer Einwurf ergibt sich aus den Erscheinungen der Regeneration. Wenn wir an irgend einer Stelle des Körpers Teile entfernen, so beginnt die Teilungsfähigkeit der Zellen binnen kurzem aufs neue zu erwachen; es wird neues Zellmaterial gebildet, um das Verlorene zu ersetzen. Beim Menschen und den Säugetieren, den höchst entwickelten Formen, können in der geschilderten Weise freilich nur kleine Defekte ausheilen. Aber noch bei Reptilien und Amphibien werden abgerissene Beine und Schwänze in mehr oder minder vollkommener Weise regeneriert. Freilich ist auch die Regenerationsfähigkeit geringfügig im Vergleich zu der enormen Regenerationsfähigkeit niederer Tiere. Schon vor 150 Jahren hat der Genfer Trembley gezeigt, daß, wenn man einem Süßwasserpolypen einen Tentakel mit einem kleinen Teil des Körpers abschneidet und weiterzüchtet, dieser Torso das Ganze wieder herstellt, obwohl er sich nicht ernähren kann und seine Bildungsstoffe dem eigenen Material entnehmen muß, ein Zeichen, daß die Ernährung nicht der einzige die Teilung der Zellen bestimmende Faktor ist.

Digitized by Google

Daß bei Menschen und Säugetieren nicht der Grad der Nahrungsversorgung, sondern die Beschaffenheit der Zellen für das Ausbleiben oder Eintreten der Teilungen maßgebend ist, lehren uns endlich in überzeugender Weise die sogenannten Geschwülste, die nicht nur beim Menschen, sondern auch bei anderen Wirbeltieren und selbst wirbellosen Tieren vorkommen. Auf demselben Nährboden, auf dem sich normale Zellen nicht vermehren können, wachsen Krebszellen in furchtbarer Weise heran, alle ihnen in den Weg tretenden Gewebe und schließlich auch das Leben des Menschen vernichtend.

Die Teilungsfähigkeit der Zellen eines ausgewachsenen Menschen oder Tieres ist also nicht erloschen, sie ist nur nicht imstande, sich zu betätigen; sie ist zurückgehalten. Die hierin sich aussprechende Beschränkung der Zellfreiheit kann durch Reize von außen aufgehoben werden, unter gewöhnlichen Verhältnissen wird sie aber nur aufgehoben, wenn das Bedürfnis des Gesamtorganismus es verlangt, wie es bei Wundheilung und Regeneration der Fall ist. Wenn nun Einflüsse, die von der Gesamtheit des Organismus ausgehen, fähig sind, lokal die Teilungsfähigkeit der Zellen wieder herzustellen, so sind es offenbar auch analoge Einflüsse entgegengesetzter Natur, welche die Teilungshemmung veranlassen. Mit anderen Worten, die Zellen eines hochentwickelten Tieres teilen sich nicht, weil sie den Wachstumsgesetzen des Ganzen unterworfen sind wie ein jeder von uns den Gesetzen des Staates.

Wir sind nun in der Lage, den Unterschied zwischen den Zellen, wie wir sie bei Protozoen, niederen Tieren und Pflanzen einerseits und den Zellen des Menschen und der übrigen hochorganisierten Tiere andrerseits finden, genauer zu formulieren. Einzellige Organismen folgen ausschließlich den ihnen innewohnenden Wachstumsbedingungen, sie besitzen das Wachstum und die Vermehrung, welche der Zelle als solcher eigentümlich sind. Hierfür wollen wir den Ausdruck „cytotypisches Leben" einführen. Dieses „cytotypische Leben" überwiegt auch bei niederen vielzelligen Tieren und bei allen Pflanzen. Die Zellen des Menschen und der höheren Tiere dagegen verlieren einen großen Teil dieser Selbstbestimmung, sie sind Bestandteile eines Organs, welches eine einheitliche Funktion zu erfüllen hat, sie müssen sich den Bedürfnissen dieses Organs unterordnen, welches seinerseits wieder von dem Bedürfnis des gesamten Organismus bestimmt wird. Wir wollen diese Art des Zellenlebens „organotypisches Leben" nennen. Wenn wir in der Organismenreihe von niederen zu höheren Formen

Digitized by Google

aufsteigen, so können wir verfolgen, wie immer mehr das cytotypische Leben zurücktritt und das organotypische breiteres Terrain gewinnt. Wir können diese Veränderung des Zellenlebens auch in der oben kurz skizzierten individuellen Entwicklung des Menschen und ebenso in der Entwicklung aller höheren Tiere nachweisen. Anfangs reiche Vermehrung der Zellen, rein cytotypisches Leben, welches immer mehr zurücktritt und von dem organotypischen Leben abgelöst wird.

Wir müssen nun versuchen, in den ursächlichen Zusammenhang zwischen hoher Organisation und organotypischem Wachstum, d. h. beschränkter Teilfähigkeit der Zellen, tiefer einzudringen. Es ist das ein ungeheuer schwieriges Problem, von dessen völliger Aufklärung wir weit entfernt sind; immerhin können wir doch einiges jetzt schon feststellen, was die Erscheinung verständlich macht und für unsere weiteren Auseinandersetzungen von Bedeutung sein wird.

Wie jede höhere Organisation in der Natur und im Leben der Völker auf Arbeitsteilung und damit verbundener Differenzierung beruht, so setzt sich auch der hoch organisierte Bau des Menschen aus sehr verschiedenartigem Zellmaterial zusammen, aus Drüsen, Muskeln, Nerven, Knochen, Knorpel, usw. Ich will an einem bestimmten Beispiel auseinandersetzen, in welcher Weise die Differenzierung der Gewebe zustande kommt und wie durch diese Differenzierung das Verhältnis der Zellen zum Ganzen im Vergleich zu niederen Zuständen verändert wird. Ich wähle als leicht verständliches Beispiel den Muskel. Jede Muskelfaser ist bei ihrer ersten Anlage eine Zelle; diese Zelle wächst und vermehrt ihre Kerne; sie vermittelt aber nicht selbst die Muskelbewegung. Zu diesem Zwecke erzeugt sie sich ihre spezifischen Werkzeuge, sie erzeugt quer gestreifte Muskelfibrillen in immer größerer Zahl, bis der kleine Werkmeister fast ganz hinter seinen Werkzeugen verschwindet. Die Muskelfibrillen sind es, welche die Bewegungen ausführen, die Arbeit leisten und sich dabei verbrauchen; der Zelle fällt die Aufgabe zu, für die Ernährung zu sorgen und das Verbrauchte wiederherzustellen; sie kann die Nahrung nicht mehr zu eigenem Nutz und Frommen, zum Wachstum und zur eigenen Vermehrung benutzen; sie führt die Nahrung an die funktionierenden Teile des Organs ab; sie ist organotyp geworden. Da nun weiter die Muskelbewegungen weder im Interesse der Zelle ausgeführt, noch von ihr ausgelöst und reguliert werden, sondern alle diese bestimmenden Einflüsse vom Gesamtorganismus ausgehen, kann die Zelle einer Sklavin verglichen werden, welcher Arbeit zugemutet wird, ohne daß

Digitized by Google

man sie befragt, ob das Maß ihrer Kräfte dem Maß der zu leistenden Arbeit entspricht.

Was ich am Beispiel des Muskels auseinandergesetzt habe, gilt für alle Gewebe des menschlichen Körpers, wenn auch nicht für alle in gleichem Maße. Die große Leistungsfähigkeit unseres Körpers beruht eben darauf, daß unsere Zellen kein Individualleben mehr führen. Nur so kann das harmonische Zusammenwirken der Teile erzielt werden, welches für höhere Leistungen nötig ist. Unseren Zellen wird zugemutet, die Werkzeuge zu bilden und zu erhalten, über welche von ganz anderer Seite aus disponiert wird. Und doch sind diese zu Sklavinnen degradierten Zellen wiederum die eigentlichen Lebensträger, von deren Wohl und Wehe das Wohl des Ganzen abhängt. Hierin ist ein Widerspruch gegeben, der dem Ganzen gefährlich wird; hier enthüllt sich uns zugleich der Zusammenhang, der zwischen Tod und hoher Differenzierung besteht.

Wir sahen, daß einzellige Tiere, wenn sie sich lebhaft ernähren und vermehren, zeitweilig in Depressionszustände geraten, daß sie dann ihre Funktionen einstellen oder einschränken, um ihre Zellbestandteile zu reorganisieren. Bei den Zellen des menschlichen Körpers ist etwas Ähnliches nicht mehr möglich. Wenn der Organismus zu seinem Leben Muskelbewegungen nötig hat, so wird nicht danach gefragt, ob die Zelle in der Lage ist, den dabei entstehenden Substanzverlust auszugleichen, oder ob sie nicht an der Grenze ihrer Leistungsfähigkeit angelangt ist und am Anfang eines Depressionszustandes steht. Sicherlich kommen auch hier während der Funktion kleine Regulationen der Zellteile vor, aber tiefergreifende Reorganisationen, welche eine Stunden oder Tage dauernde Ruheperiode voraussetzen, sind ausgeschlossen. Das gleiche gilt von unseren Nerven, Drüsen und auch den funktionell minder wichtigen Geweben des Körpers. Wir sprechen zwar auch bei hochorganisierten Tieren vom Ausruhen. Wir stärken uns durch Schlaf, damit unser Gehirn, unsere Sinnesorgane, unsere Muskeln neuen Anstrengungen gewachsen sind. Wir schalten größere Pausen zwischen unsere Mahlzeiten ein, um den verdauenden Zellen Ruhe zu gönnen. Eine Ruhestellung der Organisation, wie wir sie von Protozoen und Pflanzen kennen, wird damit nicht erzielt. In rastloser Tätigkeit spinnt das Hirn auch im Schlaf die Fäden des Traums, pumpt das Herz das Blut durch unsere Adern, versorgt unser Atmungsapparat unseren Körper mit dem nötigen Sauerstoff und befreit ihn von der unbrauchbaren Kohlensäure, scheidet die Niere die bei der Lebenstätigkeit ent-

Digitized by Google

standenen Zersetzungsprodukte aus. Keine dieser Funktionen darf eine Unterbrechung erfahren. Sind diese Zellen, die hinter diesen Funktionen stehen, infolge zeitweilig übermäßiger oder zu lange dauernder Arbeit nicht mehr genügend reguliert, so geraten ihre Werkzeuge, die Muskel- und Nervenfibrillen, die Stützsubstanzen, die Sekretstoffe in Verfall, bis schließlich ein Grad erreicht wird, mit dem auch das Mindestmaß von Leben nicht mehr vereinbar ist. Und so führt hochgradige Differenzierung mit Notwendigkeit vom Partialtod der Zellen zum Tode der Gesamtheit.

Wenn der vom Gesamtorganismus auf die Zellen ausgeübte Zwang zum Funktionieren Ursache ihres Todes wird, so muß Aufhebung dieses Zwanges, Rückkehr vom organotypischen Leben zum cytotypischen Leben, Wiederherstellung der Selbstbestimmung der Zellen Ursache sein, daß dieselben wie Protozoen wieder zu längerer Existenz und lebhafter Vermehrung befähigt werden. Das ist nun auch in der Tat nachweisbar. Ich habe schon früher einmal die Neubildungen oder Geschwülste berührt, diese so interessanten, zugleich auch praktisch so wichtigen Anomalien des Zellenlebens; ich komme jetzt noch einmal von dem erörterten Gesichtspunkte auf sie zurück. Geschwülste beruhen auf Zellvermehrungen, welche sich in mehr oder minder auffälliger Weise von dem Wachstumsgesetz des Gesamtkörpers emanzipiert haben; ihre Zellen ordnen sich nicht mehr dem Bedürfnis der Gesamtheit unter; sie sind Zellrevolutionäre geworden, die ihre eigenen Wege wandeln.

Wir haben gesehen, daß der vom Organismus ausgeübte Zwang durch die Funktion vermittelt wird; er ist um so energischer, je mehr ein Gewebe differenziert, d. h. auf eine bestimmte Funktion eingerichtet ist. Je höher diese Differenzierung ist, um so schwieriger wird es für die Zelle sein, sich dem Einfluß des Ganzen zu entziehen. Die Richtigkeit dieses Gedankenganges wird durch die Geschwulstlehre bewiesen. Bei Nerven und Muskeln ist der organotype Charakter der Gewebe am meisten ausgesprochen, nächstdem bei Knochen und Knorpel, am wenigsten bei Bindesubstanz und Epithel. Dieser Aufreihung entsprechend verteilt sich auch die Häufigkeit, Wucherungsfähigkeit und Bösartigkeit der Geschwülste auf die einzelnen Gewebe. Nervengeschwülste sind selten und ungefährlich. Die Bindesubstanzgeschwülste, die Sarkome, und die Epithelgeschwülste, die Carcinome, sind häufiger und gefährlicher, sie bilden das Hauptkontingent der Krebse, jener furchtbaren Zellwucherungen, welche mehr als Pest und Cholera vom Menschen gefürchtet werden. In ihnen erwacht die enorme Ver-

Digitized by Google

mehrungsfähigkeit der Zellen, die ich Ihnen von den Protozoen geschildert habe, zu neuem Leben, und mit ihr ein gewisses Maß von Unsterblichkeit in dem Sinne, wie wir den Ausdruck bei Protozoen näher definiert haben.

Über diese Tatsache haben Untersuchungen der Neuzeit ganz überraschendes Licht verbreitet; sie beziehen sich auf die Krebsgeschwülste der Mäuse. Im Jahre 1900 impfte ein dänischer Forscher, Jensen, von einer krebskranken Maus Teile der Geschwulst auf andere Mäuse über. Die geimpften Mäuse wurden selbst nicht krebskrank, aber die eingeimpften Geschwulstzellen fingen an zu wuchern wie eine Pflanze in fettem Boden, nur mit dem Unterschied, daß das zur Operation benutzte Tier von der Geschwulst vernichtet wurde. Impft man, ehe es soweit gekommen ist, andere Mäuse mit dem gefährlichen Gewebe und setzt man diese Impfung immer wieder neu fort, so gelingt es, ein und dieselbe Krebskultur über viele Jahre auszudehnen. Die gleichen Experimente sind inzwischen von sehr verschiedenen Forschern, in ausgedehntestem Maßstabe von Ehrlich in Frankfurt a. M. ausgeführt worden. Wie mir Herr Professor Jensen schreibt, leben jetzt noch die Abkömmlinge der erst verwandten Krebsgeschwulst. Da die zum Versuch benutzte Maus damals $1\frac{1}{2}$ Jahre alt war und seit der ersten Impfung 6 Jahre verflossen sind, beträgt die Lebensperiode des Krebsmaterials und seines vorangegangenen Muttergewebes $7\frac{1}{2}$ Jahre, während das normale Leben einer Maus nur 2 Jahre beträgt. Wahrscheinlich werden diese Kulturen wie Protozoenkulturen sich schließlich auch einmal erschöpfen, doch fehlen bisher alle Anzeichen des Todes, die auch zurzeit nicht zu erwarten sind, da die Teilungsrate der besprochenen Krebszellen immerhin von der Vermehrungsfähigkeit eines Infusors noch weit entfernt ist.

Die Transplantationsversuche, über deren Resultate ich hier berichtet habe, besitzen ein ganz hervorragendes Interesse, und zwar nach den verschiedensten Richtungen, sie zeigen, auf wie schwachen Füßen die Lehre steht, daß die Geschwülste nach Art der Infektionskrankheiten durch Parasiten hervorgerufen sein können; sie sprechen vielmehr für die Anschauung, daß sie auf einer Umstimmung des Zellcharakters beruhen. Wie die embryonalen Zellen aus eigenen inneren Ursachen ihren cytotypen Charakter in einen organotypen verwandeln, so liegt gar kein Grund vor, den Zellen des ausgebildeten Körpers die Möglichkeit abzusprechen, diese Umwandlung noch einmal, nun aber in entgegengesetztem Sinne, auszuführen.

Digitized by Google

Für uns aber ist das zweite Resultat viel wichtiger, daß diese rückverwandelten Zellen eine Lebenskraft besitzen, die den organologisch differenzierten Zellen weit überlegen ist. Darin erblicke ich einen neuen Beweis, daß die relative Kurzlebigkeit der letzteren eine Konsequenz der Funktion ist, welche sie zu leisten haben."

Auch der Zoologe Dr. Max Hartmann in Berlin kommt als Résumé einer biologischen Arbeit betitelt: Tod und Fortpflanzung (1906, Verlag von Ernst Reinhardt in München) zum Ergebnis, daß allen Organismen, den Einzellern so gut wie den Vielzellern, der natürliche Tod zukommt. Bei den einzelligen Protozoen fällt der Tod stets mit der Fortpflanzung zusammen. „Bei einem großen Teil derselben vollziehen sich diese beiden Vorgänge unter Zurücklassung einer Leiche. Doch ist das nicht wesentlich. Die Leiche kann minimal sein, sie kann nur aus toten Protaplasmaprodukten (nicht selbst lebendigen Organellen) bestehen, ja sie kann sogar völlig fehlen. In den letztgenannten Fällen verschleiert die Fortpflanzung gewissermaßen den Tod, indem die ganze Substanz des Eltertieres direkt in die jungen Kindindividuen übergeführt werden kann. Als das wesentliche des Individuentodes ist mithin nicht die Leiche sondern der Abschluß der individuellen Entwicklung anzusehen, die allen, auch den einfachsten zukommt. Die Fortpflanzung, d. i. der Beginn einer neuen individuellen Entwicklung, muß aber bei den Protozoen unbedingt mit dem Tode zusammenfallen in Anbetracht der morphologisch nur durch eine einzige Zelle repräsentierten Organisation derselben. Würde nicht durch die Fortpflanzung eines Protisten die lebendige Substanz mit ihrer spezifischen Struktur ganz oder teilweise auf junge Individuen übergeführt, so wäre die Folge davon nicht nur ein Individuentod, sondern auch der Tod der Art, die durch diese spezifische Struktur bedingt ist."

Man braucht also nicht mit Weismann die Unsterblichkeit der Protozoen, sondern nur wie bei den vielzelligen Tieren die mit der spezifischen Struktur identische Kontinuität des Keimplasmas anzunehmen. Bei den vielzelligen Organismen, bei denen die physiologischen Leistungen an verschiedene Zellen geknüpft sind, müssen alle jene Zellen zugrunde gehen und zur Leiche werden, die als Soma- oder Körperzellen die Fähigkeit der Fortpflanzung verloren haben, weil sie keine Keimsubstanz enthalten. Da aber die Körperzellen der Vielzeller alle elementaren Lebenserscheinungen außer der Fortpflanzung für sich allein ausüben können, so brauchen sie mit der Fortpflanzung nicht

Digitized by Google

sofort abzusterben, sondern können noch eine Zeitlang das Leben der Individuen weiterführen, was bei den Restkörpern der Protozoen nur im unvollkommensten Maße der Fall war. „Der Ausschluß der Somazellen von der Fortpflanzung und die dadurch bedingte gewisse Unabhängigkeit derselben bot weiterhin die Möglichkeit zu weiteren Teilungen der Somazellen und somit zu weiterem Wachstum, resp. Entwicklung der Individuen. Dadurch war aber zugleich der günstigste Boden gegeben zu einer gesteigerten Arbeitsteilung und Differenzierung des



Fig. 223. Am Flußlauf des Semliki in der zentralafrikanischen Grassteppe, an der Grenze zwischen dem Kongostaate und dem englischen Territorium. (Nach Photogramm von Dr. J. J. David.)

Soma und folglich zu der hohen und vielgestaltigen Artentwicklung, die die Vielzelligen erreicht haben. Im Lauf des Entwicklungsganges der Vielzelligen konnte sich die Unabhängigkeit des Soma von der Fortpflanzung an den verschiedensten Stellen in der Weise äußern, daß das Zugrundegehen desselben, also das Ende der individuellen Entwicklung oder der Tod, in mannigfacher Weise weit über die Fortpflanzung hinaus verrückt wurde. Mit andern Worten, das Auftreten echter vielzelliger Organismen und die darauffolgende hohe Entwicklung des Soma ermöglichte eine weitgehende Verlängerung der Lebensdauer über die Fortpflanzung hinaus. Im Laufe der Stammesentwicklung fanden hiebei die Selektionsvorgänge ein reiches Wirkungsfeld und

Digitized by Google

diese haben die Lebensdauer der einzelnen Arten reguliert und dabei jene interessanten Beziehungen zwischen Lebensdauer und Fortpflanzung geschaffen, die wir heute als so überaus zweckmäßige Anpassungen beurteilen. Es zeigt sich nämlich, daß, wenn auch die Lebensdauer weit über die Fortpflanzung hinaus verlängert wurde, diese Verlängerung immer in ganz bestimmter Beziehung zur Fortpflanzung steht, indem sie nur soweit hinausgeschoben wurde, als es für die Erhaltung der Art notwendig war. Während bei einer großen Anzahl von Metazoen — ich erinnere nur an gewisse Insekten, wie die Eintagsfliegen — immer noch Tod und Fortpflanzung zusammenfällt, hat sich bei allen jenen Organismen die Verlängerung des Lebens herangezüchtet, wo die jungen Individuen des Schutzes, der Brutpflege usw. bedurften, um die Art zu erhalten. Diese interessanten biologischen Beziehungen zwischen Tod und Fortpflanzung bei den Metazoen sind schon lange bekannt, dieselben sind von Al. Götte (Über den Ursprung des Todes 1883), besonders aber von Aug. Weismann (Über die Dauer des Lebens 1882) in einer Reihe von Beispielen im einzelnen nachgewiesen worden, worauf ich hier verweise.

Die Verlängerung der Lebensdauer der Metazoen über die Fortpflanzung hinaus findet demnach ihre Beurteilung als Anpassungserscheinung und somit ihre Erklärung durch die Selektion, während die Erklärung der dabei stets gewahrten Abhängigkeit und Beziehung zur Fortpflanzung oder — allgemeiner ausgesprochen — zur Erhaltung der Art in dem Wesen und Ursprung des natürlichen Todes überhaupt zu suchen ist. Auf keinen Fall aber kann der natürliche Tod gleichfalls als Anpassung beurteilt werden, wie das Weismann angenommen hat; denn der Tod ist ja kein während der Stammesentwicklung herangezüchteter Zustand, sondern, wie ich gezeigt habe, ein elementarer, allen Organismen zukommender Vorgang.

Es fragt sich nun zum Schlusse, ist es möglich, diese allgemeine Notwendigkeit des natürlichen Todes zu erklären oder wenigstens seine Erklärung in der Frage nach der Ursache einer andern allgemeinen Lebenserscheinung zu suchen? Unsere Betrachtungen haben nun ergeben, daß der natürliche Tod bei allen Protisten und einer großen Anzahl vielzelliger Organismen stets mit der Fortpflanzung zusammenfällt und daß in jenen Fällen, wo bei Metazoen Tod und Fortpflanzung zeitlich getrennt sind, stets ganz bestimmte Beziehungen zwischen beiden Erscheinungen bestehen. Wenn man nun auch nicht, wie Götte gemeint hat, die Fortpflanzung als direkte Ursache des natürlichen Todes

Digitized by Google

hinstellen kann, so liegt doch die Vermutung nahe, in diesen auffallenden Beziehungen eine wesentliche Eigenschaft beider Vorgänge zu erblicken. Wir haben nun durch unsere Untersuchung als das Wesentliche beim Tode den Abschluß einer individuellen Entwicklung erkannt. Das Wesen der Fortpflanzung ist aber nicht nur die Vermehrung, sondern zugleich die Verjüngung, also der Beginn einer neuen Entwicklung. In der Entscheidung über die Frage, warum zur Erhaltung des Lebens stets nach gewisser Zeit eine neue Entwicklung notwendig wird, ist daher die gemeinsame Antwort für die Erklärung von Fortpflanzung und Tod zu suchen. Die Frage nach den inneren Ursachen des natürlichen Todes fällt zusammen mit der Frage nach den Ursachen der Fortpflanzung. Tod und Fortpflanzung sind gewissermaßen nur die negative und positive Seite desselben Problems, das ein Problem der Entwicklung ist."

Die Lebensdauer der verschiedenen Tiere ist eine äußerst verschiedene, wenn man auch im allgemeinen die Regel aufstellen kann, daß innerhalb einer natürlichen Abteilung die größeren Arten länger leben als die kleineren, in dem Maße als ihre Entwicklung eine längere Zeit beansprucht. Der Elefant wird 50—100mal so alt als eine Maus, er lebt weit über 100 Jahre, während letztere 1—2 Jahre alt wird. Das Pferd lebt selten länger als 30 Jahre, während Vögel von mittlerer Größe, wie Papageien, Raben und Raubvögel wie der Mensch und die Menschenaffen 3—4mal so alt werden. Größere Insekten leben öfters mehrere Jahre, der Maikäfer z. B. vier Jahre, kleinere nur ein Jahr oder gar nur den Bruchteil eines Jahres. Bei einigen ist die Lebensdauer eine sehr bestimmte, z. B. bei den meisten Insekten, die bald nach der Eiablage sterben, bei anderen dagegen unbestimmtere, beträgt aber durchschnittlich das Fünffache von der Wachstumsdauer des Skeletts beziehungsweise Körpers.

Sehr viel höher kann die Lebensdauer bei den ausdauernden Pflanzen gehen, die verholzte Stämme ausbilden. So können manche Bäume ein ganz außerordentlich hohes Alter erreichen, das keinen Vergleich höher ist als auch dasjenige des langlebigsten Tieres, dessen regere Lebensbetätigung das in ihm befindliche Kapital an Lebenskraft viel rascher erschöpft. Ein solcher Methusalem der Pflanzenwelt, der wohl das allerälteste Glied der heutigen Erdschöpfung ist und als solcher unsere größte Ehrfurcht verdient, ist die auf beifolgender Tafel dargestellte mexikanische Zypresse, Taxodium mexicanum oder besser

Digitized by Google



Die mexikanische Zypresse, Taxodium mexicanum, von Tula bei Oaxaca in Mexiko, das wohl älteste Glied unserer heutigen Schöpfung. (Nach Photogramm von W. G. Bremer in Oaxaca.)

Digitized by Google

Digitized by Google

americanum. Diesem ehrwürdigen Pflanzengreis wird ein Alter von 6000 Jahren zugeschrieben. Sein Umfang beträgt 1 m über dem Boden gemessen 31 m, die Höhe der Krone beläuft sich auf 35 m, sie umspannt aber fast 100 m. Was für Wandlungen hat nicht das Antlitz der Erde, soweit sie von der Kulturmenschheit erobert wurde, durchgemacht, seit dieser Baum auf der mexikanischen Hochebene zu sprossen begann. Damals lebten als höchste Kulturträger unseres Geschlechts noch überall Steinzeitvölker auf unserem Planeten! Dieses Gewächs wies bereits das respektable Alter von 1300 Jahren auf, als die altägyptischen Könige der 4. Dynastie die riesigen Pyramiden bei Gise als ihre unvergänglichen Grabmäler bauten. Es war über 2000 Jahre alt, als bei den neolithischen Pfahlbauern und Landansiedlern Mitteleuropas die ersten Metallgeräte aus dem Süden importiert wurden. Es sah um sich nacheinander die Tolteken, etwa zur Zeit unserer europäischen Völkerwanderung, auftreten und in seiner Nähe ihre Hauptstadt Tula gründen, von der aus ihre Könige 400 Jahre hindurch ein weises, fürsorgliches Regiment ausübten, bis dann die streitbaren Chichimeken unter ihrem großen Könige Xoloth deren Reich unterwarfen und sich mit den Tolteken assimilierten, und zuletzt die Azteken aufkamen, deren reiche und hoch entwickelte Kultur unter dem Kaiser Motecusuma, gewöhnlich Montezuma genannt, von den grausamen, von Goldgier verzehrten christlichen Spaniern unter Fernando Cortez im Jahre 1521 seinen unverdienten, jähen Untergang fand. Noch lebt der ehrwürdige Zeuge alles dessen, was wir Weltgeschichte nennen, in ungebrochener Kraft und scheint noch weitere tausend Jahre überdauern zu wollen. Was wird er noch alles erleben, bevor auch ihm, wie allem Staubgeborenen, die Todesstunde schlägt? Jedenfalls wohl das eine, daß wir alle aus dem Buche des Lebens getilgt sein werden und das Gedächtnis auch an die Berühmtesten unserer Zeit dem Nichts überantwortet sein wird!

Nach diesem einzig dastehenden Zeugen unserer heutigen Schöpfung war wohl der vor einem Jahrzehnte durch einen Sturm umgeworfene Drachenblutbaum, Dracaena draco, bei Orotava auf der Canareninsel Tenerife ein auch mehrere tausend Jahre altes Pflanzenindividuum. Dieses der Familie der Liliaceen angehörende Pflanzenindividuum, auf das Alexander von Humboldt zuerst die Aufmerksamkeit der Kulturwelt lenkte, besaß einen in zahllose Äste verzweigten Stamm von 23 m Höhe bei einem Umfang von 15 m, in Manneshöhe gemessen. Die nächsten Verwandten dieser Baumart bewohnen, nebenbei bemerkt, die

Digitized by Google

gegenüberliegende östlichste Ecke von Afrika und die Insel Sokotra, so daß wir in dieser altertümlichen Form die zusammengehörenden Reste eines ehemals viel weiter verbreiteten Pflanzengeschlechts erkennen müssen.

Ebenso werden manche Individuen des zu den Bombaceen oder Wollbäumen gehörenden Affenbrotbaumes, Adansonia digitata, trotz ihrem weichen, aber von einer dicken, zähen Rinde bedeckten



Fig. 224. Einer der wenigen noch vorhandenen Bestände der Mammutkiefer, Sequoia gigantea, in Kalifornien. Momentaufnahme der Fällung des „Mark Twain“, eines ausgesucht schönen Baumes, dessen im folgenden Bilde dargestellter Querschnitt im American Museum of National History aufgestellt wurde. (Nach Sherwood.)

Holze einige tausend Jahre alt. Wir können das nach Einzeichnungen, welche von Europäern gegen das Ende des 15. Jahrhunderts an einigen solchen Stämmen in Westafrika gemacht wurden, einigermaßen abschätzen. Der Stamm des sparrig verzweigten, durch ganz Zentralafrika verbreiteten Baumes kann einen Durchmesser bis zu 10 m erreichen. An den Zweigspitzen entstehen große weiße Blüten, deren

Digitized by Google

Befruchtung, wie bereits erwähnt, durch die den Kolibris ähnlichen Nektarinien oder Honigvögel, welche sie besuchen, um vom Blütenhonig zu naschen, im Fluge besorgt wird. Die an langen Stielen herabhängenden gurkenähnlichen Früchte bergen in einem säuerlichen Marke große schwarze Samen, die nicht nur von den Affen, sondern auch von den Eingeborenen gerne gegessen werden.

Während die Drachenblut- und Affenbrotbäume 4–5000 Jahre alt werden können, bringen es die kalifornischen Mammutbäume, Sequoia gigantea, auf wenigstens 3000 Jahre. Diese zu den gewaltigsten Erscheinungen im Pflanzenreiche gehörenden Nadelhölzer, die eine Höhe von gegen 140 m und einen Stammesumfang bis zu 35 m erreichen, fand man zuerst in der Sierra nevada in kaum 100 Exemplaren, die aber von ganz besonderer Größe und Schönheit waren. Die ausgezeichnetsten derselben wurden mit besonderen Namen belegt. So hieß das größte Exemplar der Vater des Waldes; es war 137 m hoch und besaß einen Stammesumfang von 34 m. Der nebenan im Momente der Fällung abgebildete Mark Twain war 130 m hoch und wies einen Umfang von 30 m an der Basis des Stammes auf. Später wurden im weltbekannten Yosemiteetal, das ja heute das Ziel aller die Wunderwelt Nordamerikas besuchenden Reisenden ist, noch weitere solche Bestände gefunden und, um sie der menschlichen Habsucht zu entziehen, als Nationaleigentum erklärt. Die Rinde dieser Baumart ist schwammig rotbraun und über 30 cm dick; das erst weiße, dann aber braun werdende Holz ist zwar weich, aber dennoch dauerhaft.

Entschieden scheinen die Nadelhölzer den Rekord der Langlebigkeit zu besitzen; denn fast ebenso alt wie der Mammutbaum wird die ebenfalls in Kalifornien heimische Eibenzypresse, Sequoia sempervirens, die bis 90 m hoch wird und einen Stammesumfang von 15 m erreicht. Ebenso dick werden auch einzelne Zedern des Libanon und auch in deutschen Wäldern wurden Edeltannen von mehr als 8 m Umfang gemessen, die ein ganz respektables Alter erreicht haben müssen. So wissen wir, daß die Weißtanne es auf ein Alter von 1500, die Fichte auf ein solches von 1200 und die Föhre von 750 Jahren bringt. Noch langlebiger als diese alle ist aber die Eibe, Taxus baccata, welche weitaus die langlebigste aller europäischen Bäume ist. Dieses einzige Nadelholz der Jetztzeit, das jeder Harzbildung ermangelt und dafür das Kernholz mit Gift imprägniert, um es vor den verschiedenen vom Holze lebenden Pilzen und den Larven

Digitized by Google

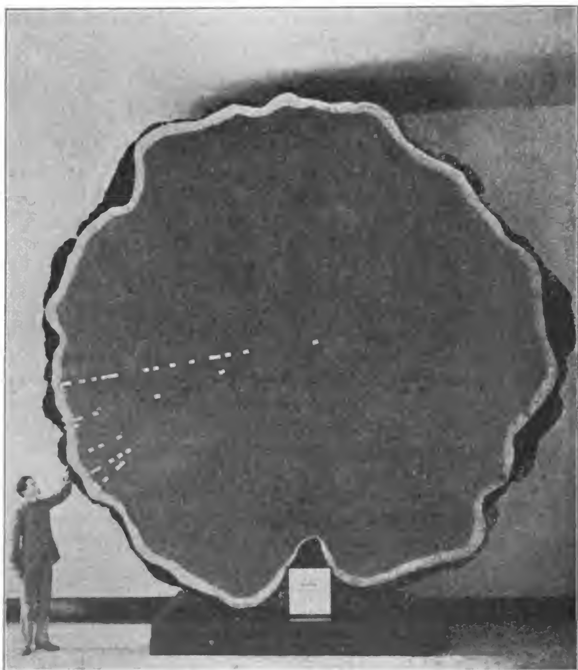


Fig. 225. Querschnitt durch die im Jahre 1891 gefällte Mammutkiefer „Mark Twain", deren Alter sich nach den Jahresringen auf 1341 Jahre bestimmen läßt. Dieser Baum begann demnach sein Dasein im Jahre 550 n. Chr., als Kaiser Justinian I. das Reich der als Arianer für ihn ketzerischen Ostgoten in Italien durch den Eunuchen Narses mit starker Heeresmacht zerstören ließ. Die oberste Reihe von Karten gibt die wichtigsten Daten der Weltgeschichte von diesem Jahre an wieder, die folgende die Geschichte der Philosophie und Biologie, die 3. dunklere Reihe die Aufeinanderfolge der Jahrhunderte, die 4. die Entwicklung der allgemeinen Biologie, die 5. diejenige der vergleichenden Anatomie, die 6. (eine einzige Karte) die Entdeckungen der Palaeontologie, die 7. die Fortschritte der Embryologie. (Nach Sherwood.)

Digitized by Google

der Holzkäfer zu schützen, kann ebenfalls ein Alter von gegen 3000 Jahren erreichen. So stand auf dem Friedhofe von Braburn in Kent (Südengland) ein Exemplar dieser Art von 18 m Umfang und kaum mehr als 10 m Höhe, das 2880 Jahre alt wurde.

Weit weniger alt als die Nadelhölzer werden gemeinhin die Laubbäume, von denen die Eichen und Linden unter den bei uns wachsenden die zähesten sind, aber gleichwohl selten das 1000. Lebensjahr erreichen. Eine der größten Eichen Deutschlands war eine im Jahre 1857 zugrunde gegangene Sommereiche, Quercus pedunculata, zu Pleischwitz bei Breslau. Der bereits ganz ausgehöhlte Stamm war 24 m hoch und besaß 65 cm über der Erde einen Umfang von 13,2 m und einen Durchmesser von 4,4 m. Sie brachte es auf ein Alter von etwa 700 Jahren. Die älteste Linde, Tilia platyphylla, steht in Württemberg bei Neuenstadt an der Kocher; sie mag ebenfalls etwa 700 Jahre alt sein. Im Jahre 1881 besaß sie einen Umfang an der Steinbank von etwa 14,5 m, doch war der Stamm bereits vollkommen zerklüftet und wurde nur noch künstlich durch Mauerwerk zusammengehalten. Die stärkste Linde stand einst in Litauen, hatte einen Umfang von 25,7 m und war 815 Jahre alt. In Schimsheim in Hessen steht eine Ulme von einem Alter von etwa 600 Jahren; sie hat 1 m über dem Boden mehr als 13 m Umfang. Doch werden die Ulmen gewöhnlich nicht über 300 Jahre alt. Im Orient gelten die Platanen als die langlebigsten Bäume. Sie erreichen vielfach einen Stammesumfang von 10 m und ein Alter von etwa 1200 Jahren. Aber ein noch weit höheres Alter als sie, nämlich bis zu 2000 Jahren, erreicht unter den Laubbäumen die Stieleiche, während die Rotbuche, wie die Ulme, nicht über ein Alter von 300 Jahren hinausgeht.

Die höchsten Bäume sind aber nicht auch die langlebigsten. So übertreffen die höchsten australischen Eucalyptusbäume wohl an Höhe, nicht aber an Umfang, sogar noch um etwas die nordamerikanischen Mammutbäume. So erreicht die wenig schattenspendende, überaus schlanke Eucalyptus amygdalina in alten Exemplaren eine Höhe von 143,5 bis 155 m, bei einem Umfang von 30 m. Diese höchste Pflanze der heutigen Erdschöpfung, welche also gelegentlich an Größe sogar den Turm des 151 m hohen Ulmer Münster etwas übertrifft und die vom Bodenbelag aus gerechnet 157 m hohen Türme des Kölner Doms beinahe erreicht, wächst ungemein rasch und verzweigt sich oft erst in 70 bis 90 m Höhe. Schon im zehnten Jahre ist sie mehr als 20 m hoch. Dabei saugt sie durch die rasche Verdunstung in den reichen Laub-

Digitized by Google

massen das Wasser sehr energisch an und vermag so auch sumpfige Gegenden schnell zu entwässern. So ist der dem mandelblätterigen verwandte blaue Gummibaum, Eucalyptus globulus, in den Ruf einer fieberwidrigen Pflanze gekommen, da er durch Entsumpfung die die Malaria übertragenden Stechmücken nicht aufkommen läßt und so dem Sumpffieber entgegenarbeitet.

Bei allen diesen durch ihre gewaltige Größe und ihr ehrfurchtgebietendes Alter imponierenden Baumriesen, die Völker- um Völkerwellen kommen und gehen sahen, erreichen aber die einzelnen Zellen, die sie aufbauen, nur vereinzelt das hundertste Jahr; meist sterben sie schon weit früher ab. In ihren gewaltigen Stämmen ist nur die äußerste Schicht lebend und dient der Saftleitung und Aufspeicherung der Nahrungsstoffe, während weitaus die Hauptmasse, der ganze innere Kern, nur totes Stützgewebe ist, das vor der Zerstörung durch Larvenfraß und Pilzinvasion entweder mit Harzen durchtränkt ist, wie bei den Nadelhölzern, oder mit Gerbstoff imprägniert ist, wie bei den Laubhölzern. Diese toten, gegen Zerstörung geschützten Holzkörper bezeichnet man als Kernholz; bekannte Beispiele dafür sind das Mahagoni- oder Ebenholz. Nur die Splinthölzer verkernen nicht und sind deshalb auch weniger widerstandsfähig gegen solche Angriffe, wie z. B. das Holz der Rotbuche.

So vermag infolge mangelnder Zentralisation der Lebensvorgänge im Pflanzenkörper ein Teil des Baumes weiterzuleben, wenn auch größere Partien in ihm schon tot sind. Ein solcher Zustand ist beim Tiere vollkommen unmöglich und undenkbar, weil bei ihm die wichtigsten Lebensvorgänge von gemeinsamen Zentren aus beherrscht werden, die sich im Zentralnervensystem befinden. Bei den Pflanzen, denen alle solche Zentren zur Regulierung der Lebenstätigkeit abgehen und bei welchen auch die Erzeugung der Nahrungsstoffe nicht durch den Verbrauch reguliert wird, läßt sich eine Teilung des Körpers ohne nachfolgende Tötung der getrennten Teile viel weiter als selbst bei niedern kaltblütigen Tieren fortsetzen. Darauf beruht die so vielfach von den Gärtnern vorgenommene Vermehrung der Stecklinge. Ja ein Teil der Kulturpflanzen, die die Fähigkeit der Samenbildung durch Degeneration der Geschlechtsteile eingebüßt haben, lassen sich nur auf solche Weise durch die Jahrhunderte und vielleicht Jahrtausende hindurch am Leben erhalten.

Je niedriger ein Tier ist, um so größer ist bei ihm

Digitized by Google

das bei der Pflanze in so hohem Maße ausgebildete Vermögen der Regeneration. Zum Schutze gegen die beständigen Angriffe von seiten der von ihr und ihren angesammelten Nahrungsstoffen lebenden Tierwelt mußte eben die Pflanze dieses Regenerationsvermögen in ausgiebiger Weise besitzen, ebenso die niederen Tiere, die den höheren, besser organisierten beständig zur Beute fallen. Geht ihnen nun durch äußere Eingriffe dieser oder jener Körperteil verloren, so vermögen sie ihn zu ersetzen. Wie ein Süßwasserpolyp oder ein Plattwurm in zwei oder mehrere Stücke zerschnitten ohne weiteres zu ebenso vielen neuen Individuen auswächst, tut es sogar ein so kompliziert gebautes Geschöpf wie der Regenwurm. Noch bei den niedern Wirbeltieren ist diese für die Wirbellosen im

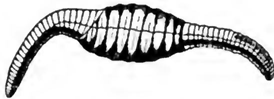


Fig. 226. Stück aus der hinteren Körperhälfte eines Regenwurms (Helodulus longus) mit regeneriertem vordern und hintern Körperteil. (Nach Korschelt.)

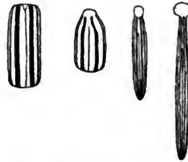


Fig. 227. Stück des Wurmes Bipalium, das sich zu einem neuen Tier umbildet. (Nach Morgan.)

Kampfe ums Dasein unerläßliche Fähigkeit in ziemlich hohem Grade vorhanden. So kann sich bei den Eidechsen der verloren gegangene Schwanz neu bilden, bei den Wassersalamandern können sich außer diesem auch noch die Gliedmaßen und sogar die Augenlinse regenerieren. Bei den Säugetieren und Vögeln ist diese Fähigkeit fast ganz erloschen; bei ihnen werden nur die abgeworfenen Haare und Federn erneuert, höchstens noch etwa, wie bei Hirschen, als normale Lebenserscheinung, jährlich das zu Werbungskämpfen um die Weibchen dienende Geweih abgeworfen und neu gebildet. Sonst werden bei diesen alle Substanzdefekte am Körper stets durch Narbenbildung ausgeglichen.

Da, wo bei einem Tiere eine Neubildung verlorengegangener Körperteile stattfindet, geht die Neubildung wie bei der Embryonalbildung gewöhnlich stets von bestimmten Gewebselementen aus; mesodermale Teile bilden sich nur wieder von auf embryonaler Stufe verharrten und deshalb noch der energischen Teilung und Vermehrung fähigen Mesodermzellen, Ektoderm, wie Epidermis, geht aus embryonalen

Digitized by Google

Ektodermzellen und Entoderm aus embryonalen Entodermzellen hervor. Nur verhältnismäßig selten kommen Ausnahmen dieser Regel vor. So wird die durch eine Verletzung zerstörte oder operativ entfernte Linse im Auge des Wassersalamanders nicht wie in der Embryonalentwicklung durch Einstülpen des Ektoderms neu gebildet, sondern sie wächst bei der Regeneration aus dem Rande der aus dem Mesoderm stammenden Iris oder Regenbogenhaut hervor. Ebenso bildet sich, wenn man gewissen Borstenwürmern das Kopfende mit dem Schlunde wegschneidet, ein neuer Schlund durch Umbildung des vorderen Endes des übrigen Darmkanals, der dem Entoderm entstammt, während beim Embryo der vordere Teil des Schlundes durch Einstülpung des Ektoderms gebildet wird.

Infolge der viel weniger streng durchgeführten Zentralisation ist aber beim niedern Tiere nicht nur das Regenerationsvermögen größer, sondern geht auch der Übergang vom Leben zum Tode viel langsamer vor sich und ist von der Ernährung durch den Blutstrom viel unabhängiger als beim höheren Tiere und nähert sich dadurch im hohen Grade der Pflanze, bei welcher die Zentralisation der Lebensfunktionen eine noch geringere ist. Während sich das Leben bei zahlreichen Tieren und Pflanzen mit der Fortpflanzung erschöpft, ist auch bei den viele Jahre wachsenden und am Leben bleibenden höheren Organismen die Fortpflanzung an den regelmäßigen Wechsel der Jahreszeiten gebunden, und zwar für die Pflanzen in die für die Befruchtung und Ausstreuung der Samen günstigste Jahreszeit; bei den Tieren dagegen fällt sie in die Zeit der günstigsten Lebensbedingungen für die Aufzucht der Jungen. Viele Tiere, namentlich der kälteren Klimate, haben so wie fast alle Pflanzen eine einmal jährlich im regelmäßig wiederkehrenden Kreislaufe der Jahreszeiten eintretende Fortpflanzungsperiode, während welcher die Eier und Samen reifen, die Befruchtung beziehungsweise Begattung stattfindet und nach bestimmter, zur Entwicklung der Früchte nötigen Frist die Samen abgestoßen und die Jungen geboren werden. Außerhalb dieser Periode ruhen die generativen Vorgänge und der Geschlechtstrieb ist erloschen. In den wärmeren Klimaten besteht eine solche Periodizität der Fortpflanzungsvorgänge



Fig. 228. Ein Wurm (Planarie) mit zwei neuen Köpfen und einem neuen Schwanze, durch einfache Einschnitte erzeugt.

Digitized by Google

infolge Fehlens eines Wechsels der Jahreszeiten zum großen Teile nicht sowohl bei Pflanzen als auch bei Tieren. Viele dieser Organismen, deren nächste Verwandte in der gemäßigten Zone eine begrenzte Fortpflanzungsperiode haben, pflanzen sich dort zu jeder Jahreszeit fort. Da die Temperaturdifferenzen im Wechsel der Jahreszeiten im Meerwasser weit weniger als in der Luft zur Geltung kommen, so ist die Periodizität in der Fortpflanzung der Meeresorganismen weniger als bei solchen des Landes ausgeprägt; so kann man bei manchen Meeresformen der nördlichen Klimate wie in den Tropen zu jeder Jahreszeit reife Eier finden.

Das Jugendstadium erstreckt sich bei den höheren Pflanzen und Tieren bis zu der Zeit, da das Individuum geschlechtsreif wird und sich fortzupflanzen vermag. Während dabei die Pflanzen mit ihrer Fähigkeit unbegrenzten Wachstums noch lange nicht ausgewachsen sind, ist dies in der Regel bei den Tieren der Fall. Nur die niederen Wirbeltiere, wie Fische und Reptilien, die sich den Pflanzen insofern nähern, als bei ihnen die Größe je nach den äußern Lebensbedingungen, unter denen sie leben, besonders der größeren oder geringeren Nahrungszufuhr, eine überaus wechselnde und das Wachstum über sehr lange Zeiträume hinaus sich erstreckende ist, werden lange bevor sie die volle Größe erreicht haben geschlechtsreif und pflanzen sich fort. Dieses Fortpflanzungsvermögen erlischt erst im Greisenalter, in welchem überhaupt die Körperorgane teilweise eine Rückbildung erleiden und weniger funktionsfähig werden, wodurch auch die Kraft des ganzen Organismus abgeschwächt wird, so daß er leicht schädlichen äußeren Einwirkungen zum Opfer fällt. Dieses letztere

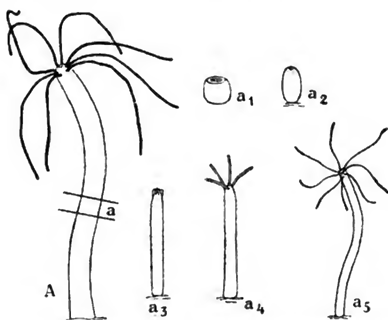


Fig. 229. Süßwasserpolyp, Hydra, an welchem ein Stück a quer herausgeschnitten wurde, das sich abrundet a_1, streckt a_2, Tentakel bildet a_3 und zu einem neuen Polypen (a_4 u. a_5) auswächst.

Digitized by Google

Stadium der Hinfälligkeit und körperlichen Abnahme ist übrigens nur bei den höheren Wirbeltieren, den Säugern und Vögeln, deutlich nachzuweisen; bei den andern fehlt es sozusagen vollkommen.

Sehr eingehend sind in den letzten Jahrzehnten die Bedingungen zur geschlechtlichen Fortpflanzung bei den Pflanzen erforscht worden. Sie wird in allen Fällen durch starkes Licht begünstigt, besonders durch die rotgelben Strahlen im Spektrum, d. h. diejenigen, welche die Kohlensäurezerlegung und Assimilation begünstigen und damit eine möglichst ausgiebige Ernährung ermöglichen. Im Finstern gezogen bilden die höheren Pflanzen nie Blüten; zum Hervorlocken der letzteren aus dem betreffenden Organismus ist stets Licht nötig. Nur die Zwiebelgewächse bilden auch im Dunkeln Blüten, aber diese wurden unter Einfluß des Lichtes schon im vorhergehenden Sommer ausgebildet und sind bloß im Dunkeln, ohne neue Ernährung durch die Blätter, sondern nur aus den Reservenahrungsmagazinen aus der Zwiebel gewachsen. Diese Zwiebeln stellen ja unterirdische Sprosse der Pflanze mit dicken, fleischigen Niederblättern dar, die als in ihrer Entwicklung gehemmte und als Reservestoffbehälter benützte Laubblätter aufzufassen sind.

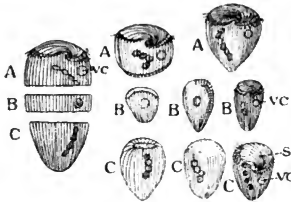


Fig. 230. Regeneration eines in drei kernhaltige Stücke (A, B, C) zerschnittenen Protozoon, Stentor, VC pulsierende Vakuole, S Scheitelfeld (Peristom) nach A. Gruber.

Wird ein Zweig ins Dunkle gesperrt, so wachsen die in ihm vorgebildeten Blüten auch im Dunkeln aus, wenn die übrige Pflanze reichlich assimilieren kann. Das photochemisch wirksame blaue Licht hindert ihre Bildung, während das die Assimilation fördernde rotgelbe Licht die Blütenbildung begünstigt. Zur normalen Blütenbildung bedarf jede Pflanze eines Minimums von Licht. Je nach dem Standorte, an welchen sich die Pflanze angepaßt hat, ist die dazu nötige Menge sehr verschieden. So blüht die Schattenpflanze Rührmichnichtan, Impatiens nolimetangere, noch kräftig selbst dann, wenn die Malve keine Blütenknospen mehr anzulegen vermag. Bei Lippenblütlern findet bei zunehmender Lichtreduktion zuerst eine Verkleinerung der Oberlippe, nie jedoch der Unterlippe statt, die den zur Befruchtung der Blüte er-

Digitized by Google

warteten Insekten als Anflugbrett dienen soll. So sind die früher erwähnten kleistogamen Blüten, die sich überhaupt nicht öffnen und selbst befruchten, fast stets infolge verminderter Beleuchtungsintensität bei Pflanzen entstanden, zu denen keine Insekten zur Bestäubung mehr hinkamen. Bisweilen ist die Kleistogamie auch auf niedere Temperatur zurückzuführen, wenn auch die schwache Lichtintensität die viel wichtigere Bedingung zu ihrer Bildung ist.

Im allgemeinen fördert die höhere Temperatur die Blütenbildung. So blühen im Süden viele Pflanzen, auch dahin gebrachte Kulturpflanzen wie Erdbeere, Rebe usw., beständig und sieht man an ihnen stets Blüten neben Früchten. Ja, erst in warmen Ländern bilden manche Pflanzen, wie beispielsweise die Wasserlinsen, die, wie bereits erwähnt, von kleinen Wasserschnecken befruchteten Blüten, während sie sich in unserem kälteren Klima mit einem Wechsel der Jahreszeiten nur vegetativ durch Sprossung fortpflanzen. Bei allzu hoher Temperatur und zu großer Luftfeuchtigkeit werden dagegen keine Blüten und Früchte mehr hervorgebracht. So wachsen zwar in den Tropen unsere Getreidepflanzen und Obstbäume ganz üppig, bilden aber keine Blüten mehr, tragen also auch niemals Frucht, weshalb sie nicht mehr vom Menschen angebaut werden.

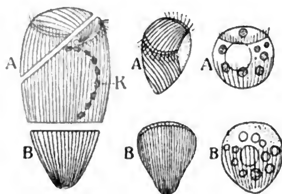


Fig. 231. Ein Stentor, dessen abgeschnittene Stücke (A und B) sich nicht regenerieren, weil sie kernlos sind.

Alles was die Transpiration, die Wasserverdunstung der Pflanze fördert, ist zugleich für die Blütenbildung günstig und beschleunigt sie; dies ist besonders der Fall, wenn die Luft trocken und der Boden feucht ist. Wenn dagegen der Boden trocken und die Luft feucht ist oder gar beide feucht sind, so wird das Blühen der Pflanze verzögert und nachteilig beeinflußt. Besonders bedürfen alle der Trockenheit angepaßten Pflanzen solcher Verhältnisse, wie sie ihre natürlichen Standorte bieten, um zum Blühen zu gelangen. So blüht die an den trockenen Boden der Westküste Südamerikas gewöhnte Kartoffel bei uns in zu feuchten Jahren oft nicht recht. Je reichlicher die Bodensalze der Pflanze zur Verfügung stehen, um so schwerer blüht sie, um so leichter

Digitized by Google

aber tut sie dies, je weniger sie deren zur Verfügung hat. So befördert magere Erde wie auch geringe Zufuhr an Nährsalzen durch Setzen in kleine Töpfe, durch möglichstes Trockenhalten in Verbindung mit möglichstem Hellstellen ein recht starkes Blühen der Pflanze.

Auch die Pflanzen müssen wie die Tiere ein gewisses Alter erreicht haben, um überhaupt Blüten und Früchte bilden zu können, und auch dann fruktifizieren manche erst in längeren Zwischenräumen. So blühen manche Bambusarten im Alter nur alle 3—4 Jahre, andere wie Bambusa arundinacea sogar nur alle 32 Jahre. Das gleiche ist auch bei zahlreichen unserer heimischen Bäume der Fall. Die Lärche blüht bei uns im Tiefland in einem Alter von 15—20 Jahren, im Gebirge dagegen erst in einem solchen von 20—30 Jahren. Die Föhre fruktifiziert auf trockenem Boden einzeln bereits im 15. Jahre, während sie in Beständen, da wo der Boden durch Beschattung feucht bleibt, erst mit 30—40 Jahren zur Bildung von Blüte und Frucht gelangt. Im Gegensatz zur Bergföhre, die schon mit 4—5 Jahren blüht, gelangt die Eibe erst mit 20 Jahren dazu, die Rottanne, wenn sie 30—40 Jahre alt ist, die Weißtanne mit 60, die Haselstaude mit 10, die Birke mit 15—20, Hagebuche, Pappel und Edelkastanie etwa mit 20, die Erle im Buschwald mit 12—20, im Hochwald dagegen erst mit 40 Jahren. Die Buche blüht freistehend

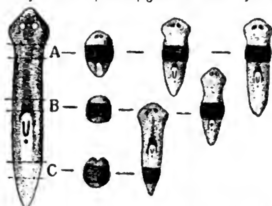


Fig. 232. Planarie, aus der drei Stücke (A, B, C) herausgeschnitten wurden, die sich zu neuen Strudelwürmern ergänzten.

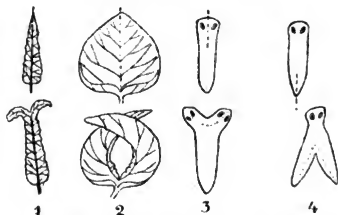


Fig. 233. Regeneration nach Durchtrennungen: 1 an der Spitze des Blattes des Hirschzungenfarns, Scolopendrium vulgare, 2 Spaltung des Blattes der Gesneracee Monophyllaea, 3 nach Spaltung des Kopfes und des Schwanzes einer Wurmart, einer Planarie, wobei aus jedem Teilstück ein neuer Kopf beziehungsweise Schwanz entstand.

Digitized by Google

mit 40, im Walde dagegen erst mit 60 Jahren, ebenso die Eiche mit 60—80 Jahren. Letztere kommt zuweilen schon mit 1—2 Jahren zur Blüte, geht aber dann an dieser verfrühten Kräfteentfaltung elendiglich zugrunde. Wahrscheinlich wirken Trockenheit und Licht bei freistehenden Exemplaren befördernd auf das Blühen, doch muß schon vorher gewissermaßen ein Überschuß von Assimilationsprodukten in der Pflanze vorhanden sein, damit sie blühe. Und ist auch eine Pflanze kräftig genug dazu, so braucht sie noch nicht alle Jahre zu blühen und Frucht zu tragen. Während die altmodische Eibe jährlich blüht, blüht die Weißtanne in milden Gegenden alle 2—5, in rauheren dagegen nur alle 6—8 Jahre, Weißbirke und Rottanne alle 3—4 Jahre.



Fig. 234. Bei der Gesneracee Streptocarpus Wendlandi wurde das eine große Keimblatt (rechts) entfernt, wonach sich das andere, normalerweise klein bleibende vergrößerte, ohne selbst verletzt worden zu sein (nach Pribram).



Fig. 235. Nach Entfernung der Schere an einem normalen rechtshändigen Krebschen Alpheus dentipes vicariierende Überentwicklung der linken Schere und Neubildung einer rudimentären rechten Schere (nach Pribram).

Gemäß den Veränderungen, die unsere Erde als Weltkörper in ihrer Stellung zur Sonne als dem Urquell alles Lebens und aller Vorgänge in der Biosphäre unseres Planeten erleidet, findet bei den meisten Lebewesen innerhalb jedes Lebenstages wie auch jedes Lebensjahres ein regelmäßiger Wechsel zwischen Tätigkeit und Ruhe statt. Alle höher organisierten Tiere, besonders die Säugetiere und Vögel schlafen während der letzteren, d. h. sie verfallen in einen eigentümlichen, bewußtlosen Zustand, in welchem die Tätigkeit aller Organe überhaupt wesentlich herabgestimmt ist. Die Abnahme des Stoffwechsels im Schlafe ist um so größer, je tiefer der Schlaf ist. Die Kohlensäureabgabe verhält sich im Schlaf und im wachen Zustande wie 100: 145. Die willkürlichen Muskelbewegungen hören dabei auf, die

Digitized by Google

Atmung wird vermindert, die Herzschläge werden verlangsamt und durch Verminderung des Tonus der Hautgefäße und der Gefäße der Eingeweide sinkt der Blutdruck, weshalb auch die Blutzufuhr zum Gehirn geringer ist als im wachen Zustande. Auch Tiere, denen man künstlich das Großhirn entfernt hat, schlafen; also ist der Schlaf nicht ausschließlich von Vorgängen in der Großhirnrinde bedingt. Für die meisten Tiere fällt diese Zeit der körperlichen und geistigen Ruhe auf die Nacht, die Aktivitätsperiode dagegen auf den Tag. Nur bei den Nachttieren ist es umgekehrt; sie schlafen am Tage, um abends zu erwachen und die Nacht über in Tätigkeit zu sein.

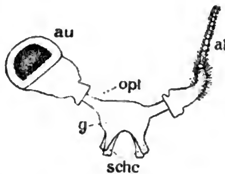


Fig. 236. Bildung einer Antenne, d. h. eines Fühlers at anstatt eines Auges nach operativer Beseitigung desselben beim Krebse Palaemon: au Auge, g Gehirn, opt Sehnerv, schc Schlundkommissuren (nach Korschelt).

Einen dem Schlafe der Tieren analogen Vorgang beobachten wir auch bei den Pflanzen. Tagsüber sind sie in Tätigkeit und assimilieren, wobei die Chlorophyllkörper bereits durch einstündige Arbeit so viel Kraftvorrat für die Pflanze zu schaffen vermögen als sie für 30-stündige Atmung braucht. Die ganze übrige Zeit arbeitet die Pflanze um Nahrungsstoffe anzusammeln, von denen die Tierwelt zehrt und ihr Leben daraus gewinnt. Nachts ruht die Assimilation und die in den Blättern angesammelte Stärke wandert in die Aufspeicherungsorgane im Stamme, oder wo sie sonstwo liegen mögen. Und wie die Tiere während des Schlafes bestimmte Stellungen einnehmen, um sich möglichst vor Wärmeverlust zu schützen, indem sie sich zusammenrollen oder das Gefieder sträuben, tun es vielfach auch die Pflanzen, indem sie alle rasch wachsenden und infolgedessen viel Wärme beanspruchenden Organe in eine Schutzstellung bringen, so werden besonders die Blüten, die wegen ihrer großen Empfindlichkeit gegen Wärmeverlust mehr als andere Pflanzenteile eines ausgiebigen Schutzes gegen Wärmeverlust bedürfen, gegen zu große Abkühlung in Nickstellung gebracht, so daß deren Öffnungen, die tagsüber der Sonne zugewandt waren, um möglichst aufzufallen und den für die Befruchtung nötigen Insektenbesuch anzulocken, sich nun gegen den Boden zu wenden. Diese Schlafstellung der Blüten und Blütenstände, die schon der Vater der Botanik Carl von Linné beschrieb, wird von zahlreichen

Digitized by Google

Doldenblütlern, Korbblütlern, Lippenblütlern, Wegericharten, dem Stiefmütterchen u. a. eingenommen. Alle diese neigen nach Sonnenuntergang nicht nur ihre Blütenstände und Blüten nach unten, sondern schließen auch ihre Blüten durch Zusammenklappen der Kelch- und Kronenblätter über den Staubgefäßen und Stempeln. Dadurch bilden sie um diese ein schützendes Dach, unter dem sich die Temperatur der Luft verhältnismäßig langsam ändert, d. h. eine Abkühlung nur wenig geltend macht, so daß die gegen Wärmeverlust empfindlichen Antheren und Narben gegen zu starke Ausstrahlung über die Nacht gesichert sind; gleichzeitig ist damit auch der Pollen gegen Tau und allfälligen Regen geschützt.

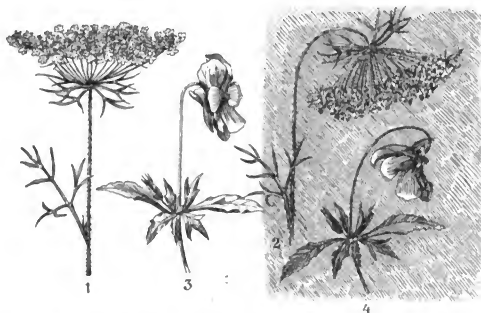


Fig. 237. Nyktitrope Bewegungen, d. h. periodisches Nickendwerden von Blüten und Blütenständen, 1 Die Blütendolde der gemeinen Möhre, Daucus carota, in der Tagstellung, 2 dieselbe in der Nachtstellung. 3 Die Blüte des Stiefmütterchens, Viola tricolor, in der Tagstellung, 4 dieselbe in der Nachtstellung.

Solche nyktitrope Bewegungen, wie man diese Erscheinung heute in der Wissenschaft bezeichnet, führen besonders auch die gegen Wärmeverlust in der Nacht empfindlichen zwei Keimblätter der Dikotyledonen aus. Solange der Keimling, von derben schützenden Häuten umgeben, scheintot im Samen ruht, sind die zwei Samenlappen mit ihrer oberen Seite aufeinandergelegt. Später, wenn die Keimung stattgefunden hat, das Würzelchen in die Erde eingedrungen und die Samenhülle abgestoßen ist, rücken die beiden Samenlappen auseinander und kehren ihre obere Seite dem Himmel zu, um sich von der Sonne

Digitized by Google

möglichst durchleuchten und erwärmen zu lassen und zu assimilieren. Für derlei grüne Kotyledonen wäre es nun gewiß ein großer Nachteil, wenn sie die im Laufe des Tages empfangene Wärme in der folgenden Nacht ganz verlieren müßten. Zumal in Gegenden, wo die Mehrzahl der Samen bei niedriger Temperatur nach Ablauf des Winters in einer Zeit, in welcher die Nächte noch recht kalt sind und lange dauern, keimt, muß mit der Wärme nach Möglichkeit gespart werden. Deshalb schützt sich die Pflanze gegen den unerwünschten Wärmeverlust durch nächtliche Strahlung, indem sie die gleich den Blättern eines Buches auseinandergeschlagenen und mit den Breitseiten dem Himmel zugewandten Keimblätter sofort nach Sonnenuntergang aneinanderlegt und wieder jene geschützte Lage annehmen läßt, welche sie seinerzeit im keimenden Samen innehatten. Dadurch sind jetzt beide Kotyledonen mit ihrer schmalen Seite dem Himmel zugewandt und ist der Wärmeverlust durch nächtliche Strahlung auf ein möglichst geringes Maß herabgesetzt. Es wird durch diese Bewegung der Kotyledonen, die an wolkenlosen Abenden und an offenen Standplätzen auf freiem Felde rascher als bei bedeckten Himmel und an Orten, die vom Gezweig der Bäume überwölbt werden, stattfindet, auch noch der nicht zu unterschätzende Vorteil erreicht, daß die kleinen Laubblättchen, welche an der ersten Anlage des Stengels zwischen den Kotyledonen sichtbar werden, über Nacht zugedeckt und gegen die Kälte geschützt sind. Kommt dann der Morgen, und ist die Gefahr des übermäßigen Wärmeverlustes vorüber, so klappen die Kotyledonen alsbald wieder auseinander, um neuerdings die wärmenden und die Assimilation ermöglichenden Sonnenstrahlen möglichst ausgiebig auf sich einwirken zu lassen.



Fig. 238. Blüte des Safrans, Crocus multifidus, links im Sonnenschein geöffnet, rechts nachts und bei Regenwetter zum Schutze des unter der Nässe leidenden Pollens geschlossen. Um 1/3 verkleinert.

Durch ähnliche Lageveränderungen, wie sie die Keimlinge der Dikotyledonen an ihren Keimblättern zeigen, sind in sehr vielen Fällen

Digitized by Google

auch die sogenannten zusammengesetzten Blätter gegen nächtliche Abkühlung durch Strahlung geschützt, indem sie ihre Teilblättchen, die am Tage ihre breite Fläche dem Himmel zuwandten, nach Sonnenuntergang nach abwärts oder aufwärts, stets aber so stellen, daß ihre schmale Seite nach oben sieht. Diese Bewegung zur Einnahme der Schlafstellung wird durch eine Änderung des Turgors, d. h. der Flüssigkeitsspannung in den dünnwandigen parenchymatösen Zellen der Gelenkwülste an der Basis der betreffenden Teilblättchen und oft auch an der Basis der gemeinsamen Blattstiele ausgelöst, ohne daß sich das Blatt selbst daran beteiligt. Da die Vertikalstellung der Blattflächen während der kühlen Nacht auch ein wichtiges Schutzmittel gegen zu weitgehende Transpiration ist, so ist beim Zusammenklappen der Teilblättchen stets die Lage der Spaltöffnungen maßgebend, indem sich stets die mit solchen versehenen Seiten aufeinanderlegen, damit die Verdunstung möglichst eingeschränkt werde.



Fig. 239. Die Sinnpflanze, Mimosa pudica, a vor und b nach der Berührung, sei es durch irgend ein Lebewesen oder darauffallende Regentropfen. Diese letztere Stellung entspricht der Nachtstellung, während erstere die Tagstellung bedeutet.

Eine große Zahl von Pflanzen, deren Blätter bei Eintritt der Dunkelheit die Schlafstellung annehmen, nehmen diese auch am hellen Tage ein, sobald sie erschüttert oder betastet werden, und zwar unter diesen Umständen viel rascher als bei Eintritt der Dunkelheit. Diese von den älteren Botanikern als Sensitive bezeichneten Gewächse wollen sich mit diesem raschen Schließen und Herunterklappen der berührten Blätter vornehmlich gegen den Regen schützen, damit er die zarten Blattflächen nicht durch die Wucht seines Falles beschädige, auf den Blättchen liegen bleibe und sie so beschwere. Aber nicht nur das von den ersten Regentropfen unmittelbar getroffene Blättchen schlägt

Digitized by Google

sich sofort nach abwärts, sondern durch Reizleitung im Protoplasma machen alle die Nachbarn die Bewegung nach, auch wenn sie nicht selbst durch den Anprall fallender Regentropfen erschüttert werden. Daneben erwächst den betreffenden Pflanzen durch diese Fähigkeit des Zusammenklappenkönnens ihrer Blätter auch noch der große Vorteil eines Schutzes; denn sicherlich werden weidende Tiere, welche die zarten Blätter solcher Sensitiven beschnuppern und mit dem Maule berühren, durch diese an den sonst passiv alles über sich ergehenlassenden Pflanzen auffallenden plötzlichen Bewegungen der Blätter befremdet und erschreckt und unterlassen es, diese unheimlichen Wesen abzufressen, zumal dann, wenn zwischen den sich herabschlagenden Blättchen starrende spitze Dornen sichtbar werden und sich bald auch unangenehm genug bemerkbar machen, was namentlich bei vielen Mimosen der Fall ist.

Wie der Wechsel von Tag und Nacht die Lebensfunktionen der Tiere und Pflanzen periodisch verändert, indem auf eine Zeit erhöhter Tätigkeit eine solche der Ruhe folgt, so bewirkt auch der Wechsel der Jahreszeiten einen solchen Kreislauf im Leben der Organismen. In der gemäßigten und kalten Zone machen sich Sommer und Winter einerseits durch ihre mit Licht und Wärme das Leben fördernde, andrerseits aber durch Lichtarmut und Kälte dasselbe hochgradig hemmende Wirkung geltend, in den Tropen ist der Sommer durch seine anhaltende, alles Leben bedrohende Trockenheit die für die Lebewesen ungünstige Zeit, während die unsrem Winter entsprechende Regenzeit eine Periode besonders energischer Lebensenfaltung ist. So entspricht einem Winterschlafe unserer Breiten ein Sommerschlaf der Tiere und Pflanzen der heißen Zone. In beiden Fällen ist die Lebenstätigkeit aller von ihr betroffener Organismen auf ein Minimum herabgedrückt. Es sind dies alle wirbellosen Weichtiere, Insekten und niederen Wirbeltiere, von den Fischen hinauf bis zu den Amphibien und Reptilien, und manche Warmblüter, wie in unsern Breiten Murmeltier, Siebenschläfer, Fledermäuse und Bär, und in den Tropen beispielsweise der Tanrek, ein igelartiger Kerbtierfresser Madagaskars. Alle diese Tiere, die nicht wie die leichtbeschwingten Vögel und schnellfüßigen Säuger dem dann eintretenden Nahrungsmangel durch Auswanderung entfliehen können, verfallen in eine zunehmende Lethargie, in welcher die Bewußtlosigkeit viel tiefer und die Herabsetzung aller Lebenstätigkeit noch weitgehender als im einfachen Schlafe ist.

Um diesen „Sparschlaf“ erfolgreich zu überstehen, sammeln die höheren dieser Tiere Vorräte in ihrem Körper meist in Form von Fett

Digitized by Google

an, von dem sie zehren. Damit aber der Vorrat bis zum Beginne der neu eintretenden günstigen Lebensbedingungen reiche, wird der Stoffwechsel auf ein Minimum eingeschränkt, wobei die Warmblüter vorübergehend auf die Stufe der Kaltblütigkeit zurücksinken und ihre sonst auf 38° C. gesteigerte Körperwärme durch möglichst sparsame Verbrennung und Atmung auf 8° und darunter reduzieren. Wie die höheren Winter- beziehungsweise Sommerschläfer sich in warm- respektive kühlhaltende Höhlen und Nester verkriechen, so tun es auch die im ganzen schlechter gestellten niederen Tiere. Die Lurche und Krokodile verkriechen sich im Schlamme der austrocknenden Tümpel; der in allen wärmeren Gewässern Afrikas heimische Molchfisch, Protopterus annectens, (s. Fig. 17) der bekannteste der drei heute noch lebenden Arten der Dipnoër oder Doppelatmer, hüllt sich beim Austrocknen seines Wohnwassers in eine innen aus abgeschiedenem Schleime überkleidete Schlammkapsel, in welcher er dann nicht mehr durch seine Kiemen, sondern durch seine Lungen atmend mehrere Monate ohne Schaden zu nehmen verweilen kann, bis mit dem Einbruche der Regenzeit die den ausgetrockneten Boden erweichenden Wassergüsse ihn aus seinem engen Kerker befreien und seine Aktivitätsperiode beginnen lassen. Bringt man eine solche, einen Molchfisch enthaltende Schlammkapsel, wie sie öfter der Kuriosität wegen von reisenden Europäern nach Europa mitgebracht werden, in ein Becken mit Wasser, dessen Wärme derjenigen eines mittelafrikanischen Gewässers entspricht, so zeigt sich der aus dem Sommerschlafe erwachende, mit vier langen, beinartigen Flossen versehene Fisch, dessen Umhüllung sich rasch erweicht, anfänglich noch recht schlaftrunken und träge; aber schon nach Verlauf einer Stunde ist er vollständig munter geworden, obwohl er noch lichtscheu die dunkeln, beschatteten Stellen seines Beckens aufsucht und sich noch sehr oft auf dessen Grunde aufhält. Gewandt und zierlich, Flossen und Rückensaum abwechselnd bewegend, steigt er schlängelnd an die Oberfläche, um vorgehaltenes Fleisch zu verzehren und dann an seinen früheren Aufenthaltsort zurückzukehren. Die übrigen beiden Arten von Lungenfischen, der im Amazonasgebiete in Südamerika lebende Schuppenmolch, Lepidosiren paradoxa, und der in Queensland in Ostaustralien nur noch in zwei Flüssen vorkommende Hornzähner, Ceratodus Forsteri, bilden keine solche Kapsel von gehärtetem Schleim um sich, sondern begnügen sich in Zeiten der Trockenheit statt der sonst auch bei ihnen gebräuchlichen Kiemenatmung die Lungenatmung, zu der sie gleich dem Molchfisch vollkommen befähigt sind, in Funktion treten zu lassen.

Digitized by Google

Während alle diese Tiere eine solche Ruheperiode, sei es infolge Nahrungslosigkeit im Winter oder Aufhebung der natürlichen Existenzbedingungen durch sommerliche Dürre mit einem aufs äußerste beschränkten Stoffwechsel überstehen, so hört derselbe in andern Fällen ganz auf und es tritt der früher von uns beschriebene Zustand der Anabiose ein, in welchem jedes Leben für uns verschwunden zu sein scheint. So hat man wiederholt in der sichern Voraussetzung ihrer Abgestorbenheit etiquettiert in den Museumsschränken aufgestellte tropische Schnecken nach längerer Ruheperiode vom Scheintod erwachen und in denselben herumkriechen gesehen. Schon in unsern gemäßigten Breiten kann man Schnecken in einen solchen Zustand der Anabiose versinken sehen, nicht nur während des Winters vor Kälte, sondern auch im Sommer vor Trockenheit. In der heißen Jahreszeit, da Baum und Strauch ihre Blätter vor Trockenheit schlaff herabhängen lassen, bergen sie sich in einem Zustande der Lethargie an Pflanzen oder liegen noch öfter in der kühleren Erde geschützt, nachdem sie ihr Gehäuse durch einen kalkigen Deckel sorgfältig geschlossen haben, um so ihr Gewebe vor vollständigem Austrocknen und damit auch vor dem Tode zu bewahren. Sie besitzen noch die nötige Menge von Feuchtigkeit, um im Innern ihres Versteckes die Lebensfähigkeit zu behalten, bleiben aber darin solange zurückgezogen, bis sie durch den fallenden Regen zu neuem aktiven Leben erweckt werden.

Alle niederen Lebewesen, vor allem die Infusorien und andere Protozoen, sterben beim Austrocknen der Tümpel, in welchen sie ihr Wesen treiben, nicht ab, sondern kapseln sich ein, um in Anabiose mit dem zu Staub vertrocknenden Schlamme vom Winde oft weit fortgetragen zu werden und dann, gelegentlich ins Wasser geratend oder vom fallenden Regen durchfeuchtet, zu neuem Leben zu erwachen. Manche Würmer, wie das Weizenälchen, kleine Krebse und Bärtierchen, eine Art plumper, milbenähnlicher Spinnen, haben ihre Lebensweise ganz diesem periodischen Scheintode angepaßt und verfallen regelmäßig während der Trockenheit in Anabiose. Ja deren Eier bedürfen geradezu eine solche Austrocknung, die sich bis auf mehrere Jahre erstrecken kann. So z. B. liefert der ausgetrocknete Schlamm aus den Pfützen, in welchen die winzigen Krebse, die Kiemenfüßer der Gattung Apus, gelebt haben, erst nach einigen Jahren, wenn man ihn unter Wasser bringt, Larven; von der verwandten Art Artemia entwickelte sich die junge Brut im Jahre 1877, nachdem der mit Eiern versehene Schlamm fünf Jahre vorher in der Oase Dachel in der lybischen Wüste ge-

Digitized by Google

sammelt worden war. Schlamm mit Eiern eines andern kleinen Krebschens der Gattung Branchipus ergab sogar, nachdem er zehn Jahre trocken gelegen hatte, noch einige Larven.

An eine ähnliche Ruhezeit wie die niederen Tiere und ihre Eier sind auch die niederen Pflanzen und deren Samen angepaßt; diese kann teils durch Kälte, teils aber durch Wärme bedingt werden. So machen in unseren Breiten während der kalten Jahreszeit im Winter, in den Tropen dagegen im Sommer auch die Pflanzen eine Zeit der



Fig. 240. Während der sommerlichen Trockenzeit entblätterte Baobabs oder Affenbrotbäume, Adansonia digitata, typisch für die periodisch völlig austrocknende Savannenlandschaft am unteren Kongo (nach Chun).

Lethargie und Anabiose durch. Wie bei uns Moose und Flechten teils durch Gefrieren, öfters aber durch Eintrocknen Monate hindurch in Scheintod erstarren, so trocknet das moosartige Bärlappengewächs Selaginella lepidophylla in seiner Heimat Mexiko ganz aus und lebt nach jeder Durchfeuchtung, selbst nach zwei Jahren und mehr, wieder auf. Moose, die getrocknet vier Jahre hindurch scheintod zwischen Papier aufbewahrt wurden, erwachten alsbald nach einer Durchfeuchtung wieder zum Leben und Sporen, die 50 Jahre in Herbarien

Digitized by Google

gelegen hatten, fand W. Schimper ebenso keimfähig wie frische. Auch die meisten Samen der höheren Pflanzen sind auf eine gewisse Zeit der Samenruhe eingerichtet, die sie durchmachen müssen, bevor sie keimen können. Diese erstreckt sich, wie bereits früher erwähnt wurde, beispielsweise bei Rosen und Orchideen auf ein bis zwei Jahre.

Dem Winter- beziehungsweise Sommerschlaf der Tiere analog ist der winterliche beziehungsweise in den Tropen sommerliche Laubfall der Bäume, Sträucher und Krautgewächse, soweit sie nicht einjährig sind und also über die Winterkälte beziehungsweise Sommerdürre ausdauern müssen. Seit der Miocänzeit, in welcher sich diese klimatischen Gegensätze auf unserem Planeten auszubilden begannen, hat sich der weitaus größte Teil der Phanerogamen daran gewöhnt, über eine solche Ruheperiode die ihr hiefür nicht nur unnützen, sondern geradezu schädlichen Assimilationsorgane, die Blätter, nachdem sie alles für sie Brauchbare daraus entfernt hat, abzuwerfen und über die Zeit der herabgesetzten Lebenstätigkeit von den in ihr aufgespeicherten Vorräten zu leben. In beiden Fällen ist es für die im ganzen auf einen großen Wasserbedarf angewiesene Pflanze der dann eintretende Wassermangel, der sie zu dieser Maßregel zwingt; denn wie dort die sommerliche Dürre, ist es hier der durch die winterliche Kälte gefrorene Boden, der ein Aufsaugenkönnen des Wassers aus dem Boden verhindert und die Pflanze zum freiwilligen Abstoßen der als ausgiebige Verdunstungsorgane für sie gefährlichen Blätter zwingt, die ja infolge des Wassermangels in Verbindung mit der großen Hitze oder eine Erstarrung des Protaplasmas bewirkenden Kälte doch verdorren und zugrunde gehen müßten und, am Baume oder am Strauche verbleibend, im Winter durch die von ihnen zu tragende Schneelast, die mit der Größe der ausgebildeten Blätter gewachsen wäre, die selbst mit stark verholzten Zweigen ausgestattete Pflanze in hohem Maße gefährdet hätten, indem vom Gewicht des darauflastenden Schnees ein Ast nach dem andern abgebrochen wäre.

In Gegenden, wo die Pflanze ununterbrochen das ganze Jahr hindurch tätig sein kann, wirft sie ihre alten Blätter zuletzt auch einmal ab in dem Maße als neue Blätter unter den fortwachsenden Gipfeln der Sprosse entstehen; aber da dieser Vorgang ein beständiger ist, macht er sich nur wenig bemerkbar. Wo aber eine Gefährdung der Pflanze eintritt durch Versiegen jener Quellen, aus welchen die transpirierenden Blätter ihr Wasser schöpfen, da erfolgt das Abgeworfenwerden der alten und jungen Blätter mit einem Male, indem

Digitized by Google

sich an den Ansatzstellen der Blätter eine besondere Zellenlage bildet, welche man als **Trennungsschicht** bezeichnet. Sobald die Pflanze durch eintretenden Wassermangel die Transpiration in den assimilierenden Blättern einzuschränken beginnt, entstehen nämlich am Grunde der Blätter und Blättchen zartwandige Zellen, die sich durch Teilung rasch vermehren, die älteren Zellen förmlich auseinanderdrängen, ja durch gebildete organische Säuren deren Membranen teilweise auflösen, so daß die Blätter durch ihr eigenes Gewicht oder durch geringe Windstöße an jener gelockerten Stelle abbrechen und zu Boden fallen.

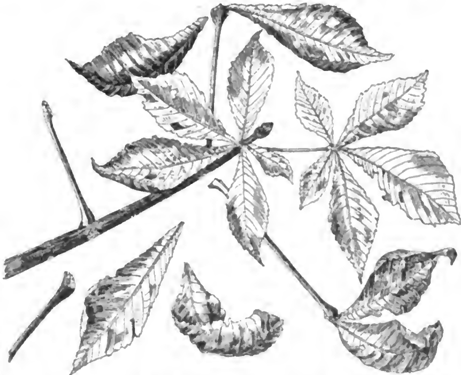


Fig. 241. Laubfall der Roßkastanie, Aesculus Hippocastanum, durch Ausbildung einer Trennungsschicht sowohl an der Basis des Blattstiels als auch unter jedem Teilblättchen. Nach einer Frostnacht oder beim geringsten Anstoße von außen durch bewegte Luft fallen die einzelnen Teile von selbst auseinander, so daß unter dem betreffenden Baume im Spätherbst ein wirrer Haufen von Blättchen und Blattstielen liegt.

Bei uns wird das Abfallen der Blätter vielfach auch durch Gefrieren und nachträgliches Auftauen des Zellsaftes in der Trennungsschicht beschleunigt, so daß nach einer frostkalten Nacht, wenn die aufgehende Sonne die herbstlich gefärbten Blätter bescheint und den zu Eis erstarrten Zellsaft löst, Tausende von Blättern selbst bei vollständiger Windstille zu Boden fallen.

Entsprechend dem früheren Eintritt der Kälte entlaubt sich dieselbe Pflanzenart im Gebirge, wie auf allen hohen Lagen, viel früher

Digitized by Google

als in den Tälern und Niederungen, trotzdem sie dort ihre Vegetationsperiode viel früher beginnen konnte. Vor dem Laubfalle wandern alle nutzbaren Stoffe mit den Protaplasten, welche in den Zellen des Blattes tätig waren, nach geschützten Stellen des Pflanzenstockes, im Stamme, in den Wurzeln und Knollen aus, um dort Reservemagazine zu füllen. Von den wichtigen Wandlungen und Wanderungen der Stoffe im Herbste gibt schon die wunderbar mannigfaltige Verfärbung des Laubes Kunde. Bei derselben spielt der schon bei der Keimung und dem Treiben der jungen Sprosse und Laubblätter auftretende blaue Farbstoff, das Anthokyan, eine höchst bedeutsame Rolle, indem er nicht nur Lichtstrahlen abhält, die in Auflösung oder auf der Wanderung begriffene Stoffe zerstören würden, sondern in unsern Breiten besonders auch die längeren Wärmestrahlen in kürzere, chemisch wirksame Lichtstrahlen verwandelt und so für die Pflanze nutzbar macht. Dabei spielen jedenfalls zahlreiche von der Pflanze gebildete Enzyme oder Fermente eine wichtige Rolle, die man mehr zu ahnen als in den kleinen chemischen Laboratorien selbst nachzuweisen vermag. Da diese Stoffe farblos sind, bemerken wir sie nicht, selbst wenn sie in großen Mengen gebildet werden. Die Blätter, in denen sie jene Umsetzungen bewirken, erhalten statt der grünen Farbe einen gelben Farbenton, der durch die nach Auswanderung der Chlorophyllkörper als Schlacken von deren Stoffwechsel zurückbleibenden gelben Körnchen bedingt wird. In manchen Blättern ist die Menge dieser gelben Körnchen eine so geringe, daß der gelbe Farbenton kaum hervortritt. Solche Blätter erscheinen dann schmutzig gelblichweiß, vertrocknen sehr rasch und werden dann braun bis schwarz.

In zahlreichen Pflanzen wird aber bei der Auswanderung der Kohlehydrate und Eiweißstoffe Anthokyan in solchen Mengen erzeugt, daß es schon äußerlich deutlich sichtbar wird. Derselbe erscheint im Zellsafte bei Gegenwart von Säuren, welche sich in den herbstlichen Blättern als Hilfsstoffe bei der Stoffwanderung regelmäßig einstellen, rot, bei Abwesenheit solcher Säuren blau und in schwach saurer Lösung violett. Finden sich neben dem durch die Anwesenheit von Säure roten Anthokyan auch reichlich gelbe Körnchen, so erhält das betreffende Blatt eine orange Farbe. Nur in den dicht mit Wollhaaren überzogenen Blättern kommt es kaum jemals zur Entwicklung von Anthokyan, und wenn sich das grüne Gewebe solcher Blätter auch verfärbt, so tritt diese neue Farbe so wenig als das Grün hervor, weil das durch den Luftgehalt der es zusammensetzenden Zellen weiß gefärbte Haarkleid

Digitized by Google

sich darüber ausbreitet. Solche Blätter bleiben auch zur Zeit des Laubfalls grau oder weiß und bilden mit den verschieden grünen, bald gelb oder braun, bald rot, violett oder orange gefärbten Blättern der mannigfaltigen an einem Orte in geselligem Verbande vorkommenden Pflanzenarten ein bezauberndes Farbenspiel, das die Maler immer wieder reizt es so gut als möglich auf die Leinwand zu bannen. Dieses bunte Farbenspiel, das als Zeichen der großen Stoffauswanderung aus den Blättern bei uns mit dem Einsetzen der ersten Fröste, in den Tropen dagegen mit der zunehmenden Verarmung der Pflanze an Wasser infolge der sommerlichen Dürre sich ausbildet, ist in der gemäßigten Zone unvergleichlich schöner als in den heißen Ländern entwickelt; am allerschönsten jedoch tritt es im nordamerikanischen Waldgebiete auf, und zwar hier wie dort um so intensiver, je langsamer die Kälte einsetzt und je mehr den Pflanzen infolge schöner Herbsttage Zeit gelassen wird, die Ausräumung der Stoffe aus ihren Assimilationsorganen in aller Ruhe vorzunehmen. Je plötzlicher aber die Kälte beziehungsweise die Sommerdürre einsetzt und die Pflanzenwelt in ihrem Liquidationsgeschäfte überrascht, um so geringer fällt die Verfärbung des Laubes vor dem Laubfalle aus.

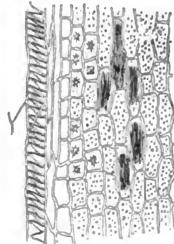


Fig. 242 Durchschnitt durch ein abgefallenes herbstlich verfärbtes Blatt der wilden Rebe, Ampelopsis hederacea. In den Zellen liegen teils Kristallgruppen (Drusen), teils Büschel von nadelförmigen Kristallen (Raphiden) aus oxalsaurem Kalk, neben gekörnten Maßen als unbrauchbaren Stoffwechselschlacken. (200 fach vergr.)

Dieses Abwerfen des Laubes ist ja ein gewisser Verlust für die Pflanze, wie auch die durch denselben Jahreszeitenwechsel bedingte Mauser der Tiere, indem dabei viel organische Substanz verloren geht, an deren Erzeugung die betreffenden Lebewesen monatelang gearbeitet haben. Aber dieser Verlust steht hier wie dort in gar keinem Verhältnisse zu den Vorteilen, welche für sie damit verbunden sind. Denn das was abgeworfen wird ist ja doch nur ein Fächerwerk von ausgeleerten Zellen erfüllt mit zahlreichen unbrauchbar gewordenen Abfällen, wie den von den umgewandelten und dann ausgewanderten Chlorophyllkörpern zurückgelassenen gelben Körnchen und den Kristallen aus oxalsaurem Kalk, die bei der Bildung der Eiweißstoffe durch Zersetzung von kohlensaurem und schwefelsaurem Kalk entstanden. Die

einen wie die andern Stoffe werden von der Pflanze gerne abgestoßen, da diese Schlacken des Stoffwechsels die sich in ihr immer mehr anhäufen, ihr schließlich lästig werden müssen. So ist das Abwerfen des Laubes eigentlich eine Stoffentäußerung der Pflanze, die mit der Ausscheidung der Exkremente bei den Tieren verglichen werden kann. Dadurch, daß die Pflanze sich rechtzeitig dieser Abfälle entledigt, nützt sie sich und zugleich auch andern, indem sie den Boden düngt. Die abgeworfenen Blätter fallen zu Boden, verwesen durch die Arbeit der Pilze und tragen durch den Reichtum an Kalk zur Bildung der Dammerde bei, welche der Nachkommenschaft der laubabwerfenden Pflanzen und zahlreichen andern Lebewesen zugute kommt.

Die Pflanze ist also mit ihrem Laubabfall wie mit ihrem Tode, nach welchem sie an Ort und Stelle von denselben Pilzen in ihre Bestandteile aufgelöst wird, ein Akkumulator für alle jene Stoffe, welche ihr zur Nahrung dienen. So lange sie lebt, häuft sie fort und fort davon in ihrem Leibe auf, und nach ihrer Zerstörung kehrt der der Atmosphäre entnommene Teil der Stoffe dahin zurück; was aber an mineralischer Nahrung von ihr aus dem Boden geschöpft und in ihrem Körper angehäuft wurde, kehrt nicht mehr zur ursprünglichen Stelle zurück, sondern bleibt den oberflächlichen Bodenschichten erhalten. Mag auch immerhin ein kleiner Teil dieser Nährsalze durch das auslaugende Regenwasser fortgeschwemmt werden, die oberflächlichen Erdschichten wirken wie ein Filter und lassen nichts davon in die unteren Bodenschichten zurückkehren. So häufen sich die aufgeschlossenen Nährsalze in den obersten Schichten der Erde an und kommen direkt der Pflanzenwelt und indirekt der Tierwelt zugute. Deshalb ist auch in Gegenden, wo kalkarmer Granit ansteht, die oberste Bodenschicht stets reich an Kalksalzen. So schreibt der bereits erwähnte Prof. Anton Kerner von Marilaun im ersten Bande seines Pflanzenlebens bei Besprechung der Veränderungen des Bodens durch den Einfluß der sich ernährenden Pflanzen: „Am Blöckenstein, einem 1383 m hohen Granitberge an der Grenze von Bayern und Oberösterreich, zeigte der Untergrund 2,7 und die oberste Bodenschicht 19,7 Prozent Kalk, auf dem nördlich davon gelegenen Berge Lusen der Untergrund 1,9, die oberste Bodenschicht 8,6 Prozent Kalk. Bedenkt man noch, daß in die oberflächliche Bodenschicht neuerdings andere Pflanzen ihre Wurzeln schlagen, welche wieder als Akkumulatoren wirken, erinnert man sich außerdem noch daran, daß Schnecken, zumal die vielen kleinen Klausilien und Helicinen, sich dort reichlich einstellen, wo kalkhaltige Pflanzen-

Digitized by Google

nahrung zu finden ist, daß diese Schnecken auch wieder als Akkumulatoren des Kalkes aufgefaßt werden müssen, und daß die fast nur aus Kalk bestehenden Schneckengehäuse nach dem Tode der Tiere der obersten Bodenschicht erhalten bleiben, so wird es auch nicht überraschen, wenn auf einem Granitplateau eine Erdkrume gefunden wird, deren Gehalt an Kalk nicht viel geringer ist als jener, welchen die Erdkrume über tonreichen Kalkfelsen zeigt."

In den Klimazonen, in denen für Pflanzen und Tiere eine Winter- beziehungsweise Sommerruhe durch Aufhören der natürlichen Subsistenzbedingungen erforderlich wird, ist auch die Fortpflanzung an bestimmte Perioden gebunden. Außerhalb derselben befinden sich die generativen Organe in einem Zustande der relativen Ruhe und bei Tieren ist der Geschlechtstrieb erloschen. Wenn aber die Zeit des Hungerns ein Ende genommen hat, so äußert sich der Trieb zum Leben um so energischer und gibt den Überschuß an Lebenskraft an die Nachkommen ab, die stets zu einer Zeit geboren werden, da für ihr Fortkommen am besten gesorgt wird, wenn auch das befruchtete Ei wie bei den Rehen und Fledermäusen Wochen und Monate seine Entwicklung zum Embryo unterbrechen mußte, um den richtigen Termin hierfür zu treffen. In den wärmeren Klimaten, in denen keine regenlose Zeit der Dürre die Lebensbedingungen für Pflanzen und Tiere so schmälert, daß eine zeitweise mehr oder weniger weitgehende Unterbrechung der Lebenstätigkeit erforderlich wird, besteht eine solche Periodizität größtenteils nicht. Viele Tiere und Pflanzen, deren nächste Verwandte in der gemäßigten Zone eine begrenzte Fortpflanzungsperiode aufweisen, pflanzen sich dort zu jeder Zeit fort. Auch ist die Periodizität bei den Meerestieren weniger als bei den Landtieren ausgeprägt, indem die Temperaturdifferenzen des Meerwassers weit kleiner sind als diejenigen der Luft. So kann man auch bei manchen Meeresformen selbst der nördlichen und südlichen kalten Klimate zu jeder Zeit reife Eier finden.

Jedes höhere Pflanzen- und Tierindividuum erneuert sich beständig, indem täglich Millionen von Zellen zugrunde gehen. die in dem Maße als sie absterben durch neue Zellen derselben Art ersetzt werden. So ist ein jeder Organismus in beständiger Erneuerung begriffen. Besonders rasch verbrauchen sich an uns Menschen, wie bei allen höheren Tieren, die Deckzellen an der Hautoberfläche, die Drüsen- und die Blutzellen, von denen erstere vielfach nur wenige Tage und Wochen leben, letztere dagegen kaum älter als 1½ Monate werden. Dagegen erneuern sich andere, viel weniger rasch verbrauchte Zellen

Digitized by Google

nur alle Jahrzehnte einmal, während die Sinnes- und Nervenzellen, wie auch die Muskelzellen und ähnliche im Dienste der zentralen Leitung stehende Zellen mit ihren Kernen wenigstens zeitlebens bestehen bleiben, wenn auch jeweilen ein abgenutzter Teil ihres Zellenleibes sein Plasma regeneriert. So ist die ununterbrochene Mauserung des Individuums niemals eine vollständige und allgemeine, da immer in jedem, selbst dem langlebigsten Tiere oder Menschen, ein solider Grundstock von konservativen Zellen am Leben bleibt und so die Kontinuität des individuellen Lebens aufrecht erhält.



Fig. 243. Seitlich vom Stamm abstehender belaubter Zweig des Spitzahorns, Acer platanoides, von oben mit sog. Blättermosaik, so daß kein Blatt dem andern vor der Sonne steht, alle aber das Licht derselben gleich gut ausnützen können. (Um ein 3/4 verkl.)

Aber einmal, sei es früher oder später, verfällt ein jeder Organismus dem Tode, d. h. dem dauernden Aufhören als Lebenserscheinungen. Dieser Zeitpunkt tritt bei den meisten Tieren, wie beim Menschen, in der Regel infolge der Funktionsunfähigkeit eines für das Ganze unentbehrlichen Organs ein. Wenn z. B. das Herz der Wirbeltiere aufhört sich zusammenzuziehen, so wird damit auch den übrigen Teilen des Körpers eine unentbehrliche Existenzbedingung, nämlich die Zufuhr mit Sauerstoff und Nahrungsstoffen beladenen Blutwassers, entzogen; dadurch stirbt ein Organ des Körpers nach dem andern ab gemäß dem größeren oder geringeren Sauerstoffbedürfnisse. Zuerst hören die empfindlichsten von allen, die Sinneszellen des Gehirns, auf zu arbeiten, das Bewußtsein schwindet demgemäß rasch; bis zuletzt erhalten sich aber die den geringsten Stoffwechsel aufweisenden Stützzellen des Körpers in Knorpel und Knochen, wie auch in den Sehnen

Digitized by Google

und im Fettgewebe. Diese können in der Leiche noch tage- und wochenlang am Leben bleiben, wie man durch Versuche positiv nachweisen kann. So kann man noch einige Tage nach dem Tode in feiner Schicht mit dem Rasiermesser entfernte Epidermisstücke des Menschen oder solche, die von Lebenden abgeschnitten und vor Vertrocknung bewahrt mehrere Tage aufbewahrt wurden, ganz gut bei Transplantationen auf lebenden Granulationen zum Anwachsen bringen, als Beweis dafür, daß solche Hautstückchen mehrere Tage nach dem Tode ihres Trägers noch am Leben waren. Von einem Todesmoment kann also eigentlich nicht die Rede sein. Wenn man einem Säugetier das Leben durch einen gewaltigen Schlag auf den Kopf raubt, so hören durch Lähmung der betreffenden Zentren im Halsmark die Herz- und Atembewegungen allerdings fast augenblicklich auf und man sagt, das Tier sei tot; manche seiner Gewebe bleiben aber noch stunden-, ja tagelang am Leben, die Muskeln sind noch nach mehreren Stunden auf elektrische Reizungen zum Zusammenziehen zu bringen.

Der Tod kann bekanntlich in jeder Lebensperiode eintreten und erfolgt gewöhnlich infolge äußerer schädlicher Einwirkungen. Bei Lebewesen mit einer Produktion von sehr vielen Eiern, beziehungsweise Samen gehen sogar regelmäßig die allermeisten Exemplare schon im Embryonal- oder Jugendstadium zugrunde; nur ein geringer Bruchteil erreicht die Geschlechtsreife. Der Tod der meisten erfolgt durch Gefressenwerden von andern oder sie werden von schmarotzenden krankmachenden Pilzen dahingerafft, wieder andere fallen dem Hunger, wie allerlei Unglücksfällen zum Opfer oder erliegen klimatischen Einflüssen. Ein lediglich durch normale innere Umstände des Organismus bedingter Tod findet wohl nur ganz ausnahmsweise in der Natur statt. Doch können gewisse Tiere, wie der Mensch, an Altersschwäche sterben, während niedrige solche regelmäßig nach einmaliger Produktion und Abgabe von Samen oder Eiern sterben.

Die Ursache des Alterns der Individuen beruht nach Prof. Max Kassowitz in Wien auf chemischen Veränderungen im Protoplasma, dessen Dissimilation immer mehr die Assimilation überwiegt. Von dem Höhepunkte des Lebens an verliert das Protoplasma der Zellen immer mehr die Fähigkeit durch beständige Neubildung die unvermeidlichen Verluste, die es durch die Lebensfunktionen selbst erleidet, zu ersetzen. Wie im Geistesleben des Menschen die Aufnahmefähigkeit des Gehirns und die Schärfe der Sinne mit zunehmendem Alter langsam abnehmen, so verlieren die Muskeln allmählich ihre Energie, die

Digitized by Google

Knochen werden brüchig, die Haut spröde und welk, die Elastizität und Ausdauer der Bewegungen nimmt ab, das Pigment in den Haaren verschwindet, und was solche Erscheinungen der senilen Degeneration mehr sind. Schließlich ergreift die krankhafte Entartung auch die lebenswichtigen Organe, besonders das Herz, und dann tritt über kurz oder lang als Naturnotwendigkeit der Tod ein.

Wie nun einzelne Individuen durch innere Ursachen zugrunde gehen, so verhält es sich auch mit den Tieren- und Pflanzengeschlechtern, die einst die Erde bevölkerten und im Wechsel der Zeiten ausstarben. Da solche Geschlechter aus zahlreichen Individuen bestehen, spielen bei deren Ausrottung die individuellen Faktoren keine wichtige Rolle, dafür aber allgemeine. Der bedeutende amerikanische Paläontologe Prof. H. Osborn hat nun kürzlich in einer eingehenden Arbeit im einzelnen den Gründen nachzuspüren versucht, die das Aussterben von Säugetieren — mit Ausnahme natürlich der vernichtenden Tätigkeit des Menschen — verursachten. Dabei müssen, wie in der Geologie überhaupt, in erster Linie die kleinen, heute noch tätigen Einflüsse in Berücksichtigung gezogen werden, deren Summierung im Laufe der Zeiten vielfach eine bedeutende Wirkung ausübte. Osborn unterscheidet zuerst zwei große Gruppen, nämlich äußere und innere Ursachen und teilt erstere wieder ein in Einwirkungen der anorganischen und solche der organischen, die Pflanzen und Tiere umfassenden Umwelt. Alle diese Einflüsse stehen natürlich in den mannigfaltigsten Wechselbeziehungen zu einander. Äußere Ursachen können den davon betroffenen Organismen direkt verhängnisvoll werden, sie können aber auch nur ihre Widerstandskraft schwächen, durch die Mütter auf die Kinder wirken usw.

Änderungen der Festländer und ihrer Verbindungen, wie sie besonders in Europa, Australien und dem südlichen Amerika vorkamen, mußten natürlich von großem Einflusse auf das Klima sein und dadurch mancher Art verhängnisvoll werden; sie konnten je nachdem Wanderungen erleichtern oder erschweren, auch neuen Mitbewerbern im Kampfe ums Dasein den Zutritt ermöglichen. Besonders machten sich diese Wirkungen natürlich auf Inseln geltend. So konnte eine Abtrennung vom Festlande den Zuzug frischen Blutes, aber auch den von Feinden verhindern. Auf solche Weise ist die Erhaltung der höchst altertümlichen Fauna Australiens nur durch dessen frühe Abtrennung vom asiatischen Festlande und dem verhinderten Zuzuge von leistungsfähigeren Raubtieren zu danken.

Digitized by Google

Zunehmende Kälte, wie das Einsetzen einer Eiszeit, dürfte wohl zahlreiche Pflanzenformen, nicht aber Tierformen direkt ausgerottet haben, da die Tiere sich ihr einerseits anpassen, wie das dichtbehaarte Mammut, das wollhaarige Nashorn und die Pferde beweisen, andererseits sich ihr aber auch durch Wanderungen entziehen konnten. Um so größer ist dafür ihre indirekte Wirkung. Mangel an Futter tötet noch jetzt in strengen Wintern sehr viel mehr Tiere als die Kälte selbst. Noch schlimmer ist der Mangel an Trinkwasser; aus dieser Ursache sterben in kalten Wintern zahllose Lamas in Patagonien dahin, oder die Tiere fressen aus Hunger ihnen schädliche Nahrung. Dadurch können gesellig in Herden lebende Tiere, wie die Wiederkäuer, so weit verringert werden, daß sie nicht mehr genügend ihren Feinden widerstehen können; dann kann sie in der Folge auch durch die Einschränkung der Zahl bedingte, unausbleibliche Inzucht weiter schwächen, so daß sie aussterben. Die mannigfaltigen schwächenden Einflüsse längerer Kälte können die Fortpflanzung verhindern, die Begattung erfolgt garnicht oder zu spät, trächtige Weibchen bringen tote oder geschwächte Junge zur Welt und können sie nicht hinreichend stillen und verteidigen, überhaupt nicht unter normalen Verhältnissen großziehen. Die Schnelligkeit der Fortpflanzung wird dadurch ständig verlangsamt und kann so zum Aussterben führen. Ganz besonders wichtig ist aber das Zurückweichen der Wälder, das viele Waldtiere, besonders die Kraut- und Laubfresser, ihrer Nahrung beraubt. Aus dieser Ursache starben in Nordamerika während der Eiszeit über 20 Gattungen größerer Säugetiere aus.

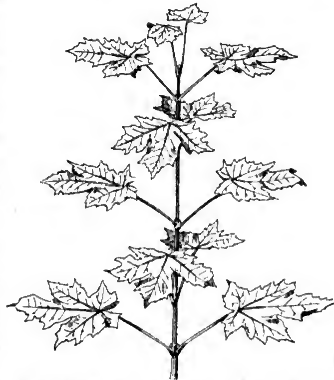


Fig. 244. Aufrechter belaubter Zweig des Spitzahorns, Acer platanoides, mit wagrecht ausgebreiteten Blättern, um ebenso wie der vorhergehende das Sonnenlicht möglichst zur Assimilation ausnützen zu können.

Das Säugetierleben ist am reichsten in trockenen oder mäßig

Digitized by Google

trockenen Gegenden entwickelt, am schwächsten dagegen in regenreichen oder in solchen mit sehr dichter Vegetation. Man denke nur an den höchst tierarmen zentralafrikanischen Urwald. So vermindert zunehmende Feuchtigkeit, wie dies zur Eiszeit der Fall war, die harten Gräser, auf die viele Säugetiere angewiesen sind, und läßt neue, giftige und schädliche Pflanzen einwandern. Auf einstigen Steppen können Wälder entstehen; dadurch werden die Steppentiere vernichtet, andern die Ausbreitung verwehrt und neue Formen eingeführt. Noch gefährlicher als Feuchtigkeit ist aber zunehmende Trockenheit, wie dies zur Oligocän- und Pliocänzeit der Fall war. Die Wälder sterben aus und mit ihnen alle von Laub und Kräutern sich nährende Tiere; dafür wandern neue Mitbewerber ein. Die Nahrung wird vollständig verändert, an Stelle weicher, saftiger Kräuter treten die harten Gräser. Die Trockenheit des Jahres wird länger, die Quellen verschwinden mehr und mehr, die Tiere werden zu großen, vielen unmöglichen Wanderungen zwischen Nahrungsstelle und Trinkplatz gezwungen. Am letzteren drängt sich alles zusammen, und die Raubtiere machen leichte Beute, vermehren sich stark und bedrohen auch dadurch die Herden der gesellig lebenden Pflanzenfresser aufs weitgehendste. Trocknen auch diese Quellen mit der Zeit aus, so sterben unzählige Tiere aus Durst. Noch jetzt findet man in Wüsten und trockenen Steppen oft die ganze Umgebung ausgetrockneter Seen und Teiche mit Knochen bedeckt. Zweifellos verdanken manche der fossilen Knochenanlagen solchem Umstande ihre Entstehung. Salzhaltige Quellen, deren Wasser anfänglich noch für die durstig sich dazu drängenden Tiere genießbar war, werden immer konzentrierter und bringen vielen Tieren den Tod. So ist wohl in erster Linie auf Trockenheit das Aussterben der Titanotherien und Chicotherien, den Nashörnern verwandten Formen, die nur weiches Laub fressen konnten, zurückzuführen, ebenso das der großen Beuteltiere in Australien.

Von den Einflüssen der lebenden pflanzlichen Umwelt sind die wichtigsten, wie Waldabschlag und Aufforstung, schädliche und giftige Pflanzen, wozu auch manche auf höheren Pflanzen schmarotzende Pilze gehören, bereits erwähnt worden. Aber es gibt auch Pflanzen, die rein mechanisch gefährlich werden, so beispielsweise durch scharfe Grannen, wie das Stachelschweingras, die den weidenden Tieren in Mund, Kehle, Augen und Ohren dringen und hier heftige Entzündungen hervorrufen. Die Hagebutten von Rosa rubiginosa werden gerne von Ziegen und Rindvieh gefressen; die die Fruchtkerne umhüllenden seidigen

Digitized by Google

Haare aber ballen sich in den Gedärmen des Viehs zu Kugeln zusammen, die schließlich die Eingeweide verstopfen können.

Noch weit mehr als die Pflanzen können Tiere einander in höchstem Maße gefährlich werden, sei es als Mitbewerber um die Nahrung, oder in noch viel höherem Grade durch Übertragung von Krankheiten. Solche direkte Feinde der gefährlichsten Art sind besonders die blutsaugenden Insekten, die mit ihrem Stechapparat die verderblichsten Blutseuchen von einem Tier auf das andere übertragen. Diese verderblichen Tierfeinde sind zunächst abhängig vom Klima, von der Vegetation und besonders von der Bewaldung, deren indirekte Bedeutung für sie noch größer ist als ihre direkte. Als solche direkte Feinde kommen hauptsächlich blutsaugende Zecken und Nasenbremsen in Betracht, die oft große Verluste bei gezähmten und wilden Tieren herbeiführen. Interessant ist hierbei, daß Zecken das nordische Pferd mit seiner herabhängenden Mähne, die beim Weiden die umstehenden Gräser abstreicht, ungleich mehr gefährden als die Esel und Zebras mit ihren kurzen, stehenden Mähnen. Ungleich wichtiger als diese blutsaugenden sind jedoch die blutdürstigen Stechfliegen als Überträger von Krankheiten. Alle die zahlreichen und bösartigen, auf Protozoeninvasion, seien es nun Trypanosomen oder Piroplasmen, Plasmodien usw., zurückzuführenden Krankheiten, wie Rinderpest, Surra, Nagana, Texasfieber, Wechselfieber und andere das Leben aufs höchste bedrohenden fieberhaften Blutkrankheiten werden durch sie übertragen und große Länderstrecken damit für manche Tierarten unbewohnbar gemacht. Da alle diese Insekten an Feuchtigkeit gebunden sind, ist es erklärlich, weshalb die betreffenden Krankheiten bei feuchter Witterung so viel heftiger auftreten als bei trockener, und daß, wie oben erwähnt, das Säugetierleben am spärlichsten in feuchten Gebieten der Erde mit üppigem Pflanzenwuchse ist. Bei Surra ist beobachtet worden, daß sie besonders die hellgefärbten Tiere, an die sich die Fliegen mit Vorliebe heranmachen, befällt. Osborn weist darauf hin, daß die ihr wenig ausgesetzten Wildbüffel alle dunkel gefärbt sind. Ob hier Immunität oder andere Ursachen vorliegen, ist allerdings unbekannt. Zweifellos ist aber Immunität oder Nichtimmunität gegen diese Krankheiten eine der wichtigsten Bedingungen für die Verbreitung der Tiere, umsomehr, als immune Tiere als Sammelbehälter der Krankheit diese weithin verschleppen können und mit ihr die nichtimmunen Tiere immer von neuem bedrohen.

Als Mitbewerber um die Nahrung kommen von Insekten

Digitized by Google

vorzugsweise die Wanderheuschrecken in Betracht, die in Verbindung mit ungünstigen Jahren nicht nur Hungersnot bei den Menschen und ihren Haustieren, sondern auch bei wilden Tieren hervorrufen können. Bekannt ist die waldzerstörende Tätigkeit der Ziegen; mit den Wäldern sterben die kleinen und großen auf sie angewiesenen Tiere aus. Namentlich in Zeiten von Hungersnot infolge von anhaltender Dürre können kleine, sich rasch vermehrende und wenig Nahrung bedürfende Säugetiere wie die Mäuse und andere Nager großen Pflanzenfressern den Rest der Nahrung wegfressen und sie überleben. So wurden beispielsweise die riesenhaften Titanotherien zur Mitteloligocänzeit von den massenhaft auftretenden Orthodonten und Urpferden der Gattung Mesohippus verdrängt. Besonders heftig mußte sich ein solcher Kampf auf Inseln gestalten; auf diese Weise wurden wohl die kleinen Flußpferde und Elefanten der früheren Mittelmeerinseln von noch kleineren Pflanzenfressern verdrängt. Auch kleinere Raubtiere scheinen größere als Mitbewerber verdrängt zu haben; so echte Raubtiere die Kreodonten in Europa und Nordamerika, ebenso die großen Raubbeutler in Südamerika und Australien. Im übrigen wird die Bedeutung der Raubtiere als Feinde der übrigen Tierwelt meist bedeutend überschätzt. Einheimische Raubtiere werden einheimischen andern Tieren nur dann ernstlich gefährlich, wenn letztere durch ungünstige andere Einflüsse stark geschwächt sind, z. B. wenn die Herden so verringert werden, daß sie die Jungen nicht mehr beschützen können. Dagegen können neu auftretende Raubtiere die ihr nicht angepaßte einheimische Tierwelt mehr oder weniger vernichten wie es in neuerer Zeit besonders die Einführung der Ichneumons auf Jamaika gezeigt hat. Ursprünglich zur Bekämpfung der dem Zuckerrohr schädlichen Ratten eingeführt, vermehrten sie sich bald so sehr, daß sie die einheimische Wirbeltierfauna ihrem Untergang nahe brachten. Im oberen Pleistocän, d. h. gegen Schluß der Eiszeit drangen zahlreiche nordamerikanische Tiere nach Südamerika vor und mögen dabei der letzten Fauna vielfach verhängnisvoll geworden sein.

Innere Ursachen bewirken nie allein das Aussterben von Tieren, sondern immer nur in Gemeinschaft mit äußeren. Die allgemeinste innere Ursache ist mangelhafte Anpassungsfähigkeit an neue Lebensverhältnisse, die auf sehr verschiedene Ursachen zurückzuführen ist. So muß namentlich übertriebene einseitige Anpassung, eine weitgehende Spezialisierung des Körpers zum Untergange führen, wenn die entsprechenden Lebensbedingungen schwinden. Aber auch einer

Digitized by Google

Entwicklung nicht fähige einzelne Organe scheinen ein Aussterben herbeigeführt zu haben. So sind alle Tiere mit bunodonten Zähnen, d. h. mit breiter Krone und einzelnen Höckern ausgestorben, weil sie nur große Mengen weicher Nahrung bewältigen konnten; sie machten Tieren mit hypsodonten Zähnen, d. h. solchen mit langer Krone und Schmelzleisten Platz, die auch harte Nahrung zu bewältigen vermochten. Die Beine des Titanotheriums waren nicht zu langen Wanderungen geeignet; sie mußten daher in Zeiten großer Trockenheit oft ihren Trägern den Tod bringen, die nicht die in der Regel weiten Wege

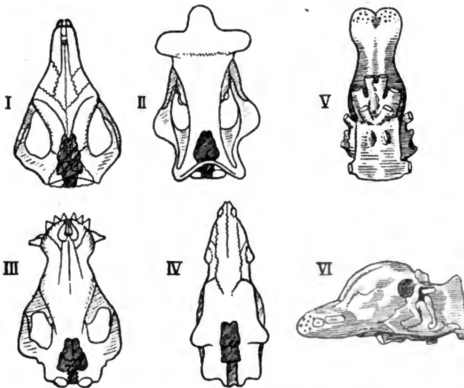


Fig. 245. Schädel eocäner Säugetiere von oben mit eingezeichnetem kleinen Gehirn (schraffiert). I Tillotherium fodiens, II Brontotherium ingens, III Coryphodon hamatus, IV Dinoceras mirabile, V und VI Steinkern des Gehirns von Dinoceras mirabile von unten mit den Anfängen der großen Gehirnnerven und von der Seite mit dem gegenüber dem Großhirn gewaltigen Riechhirn, nach Marsh (stark verkleinert). Alle diese kleinhirnigen, wenig intelligenten Tiere gingen, von intelligenteren, weil mit größerem Gehirne ausgestatteten Mitbewerbern verdrängt, schon im Laufe der Eocänzeit wieder unter.

vom Weide- zum Trinkplatz zurücklegen konnten. Man findet deshalb auch ihre Überreste besonders häufig an ausgetrockneten Flußbetten.

Sehr oft wird die bedeutende Größe vorweltlicher Tiere als Ursache des Untergangs angeführt; Osborn weist dies zurück, da die Nachteile derselben gewöhnlich von nicht zu unterschätzenden Vorteilen

Digitized by Google

aufgewogen werden. Dagegen war die Ausbildung des Gehirnes als Organ des Verstandes von größter Bedeutung für die Erhaltung eines Tiergeschlechtes. Je intelligenter es war, um so leichter konnte es sich der Ungunst der Lebensverhältnisse zum Trotz am Leben erhalten. Noch jetzt beobachtet man oft, daß das intelligente Pferd sich Gefahren entzieht, denen das stumpfsinnige Rind unterliegt. So starben auch zur Tertiärzeit alle Säugetiere mit auffallend kleinem Gehirne aus, während die andern, bei denen es sich merklich entwickelte, am Leben blieben.

Die Wirkungen der äußeren und inneren Ursachen sind ganz verschieden. Äußere Ursachen vertilgen oft eine Fauna vollständig, während innere nur die schlecht angepaßten Teile derselben zugrunde gehen lassen, so daß die Fauna als Ganzes verbessert wird. Die äußeren Ursachen treffen also angepaßte und unangepaßte Tiere vielfach gleichzeitig und gleichartig, die innern dagegen nur die letzteren. Äußere Ursachen wirken oft nur lokal, wie z. B. das Aussterben der Pferde und Rüsseltiere in Amerika, während sie in der Alten Welt leben blieben. Innere Ursachen dagegen wirken allgemein; so starben die Creodonten, Amblypoden und Condylarthren im Eocän auf der ganzen Erde aus. Indessen genügt nie eine Ursache allein, um eine Art zum Aussterben zu bringen. Wenn irgend eine (Haupt-) Ursache die Zahl einer Tierart vermindert, so folgen dann meist zahlreiche andere (Neben-) Ursachen, die deren Wirkung erhöhen und verstärken. Ist die Lebenstüchtigkeit einer Art erst einmal in einem Punkte geschwächt, so wird sie in zahlreichen andern Punkten bedroht. Immer mehr muß sie im allgemeinen Wettbewerb ins Hintertreffen geraten und schließlich, von leistungsfähigeren Arten verdrängt, aussterben.

So ist die Geschichte der Organismen der Erde eine Geschichte des beständigen Fortschritts vom Unvollkommenen zum Vollkommeneren, von niedrigen zu immer höheren, in jeder Beziehung leistungsfähigeren Formen. Äußerst bescheiden begann das Leben in der Urzeit mit den allereinfachsten Einzellern von geringer Leistungsfähigkeit bis es, alles Minderwertige und nicht rasch genug Fortschreitende ausmerzend, im Laufe von Hunderten von Millionen Jahren die allerhöchsten vielzelligen Pflanzen und Tiere hervorbrachte, die heute die ganze Biosphäre der Erde einnehmen und ihren jeweiligen Lebensbedingungen aufs beste und zweckmäßigste angepaßt sind. Und alle diese wunderbaren Lebens-

Digitized by Google

formen sind, wie immer in der Vergangenheit, so auch heute noch beständig im Fluß, im Begriffe noch vollkommener zu werden, noch höhere Daseinsformen zu bilden. Leben heißt ja Sichentwickeln, vom Niederen zum Höheren Fortschreiten. Da gibt es keine Grenze, kein Ziel. Endlos wird die Vervollkommnung im Laufe der weiteren Erdentwicklung fortschreiten und in Millionen von Jahren werden Wesen die Erde bevölkern, denen gegenüber die heutigen, uns so vollkommen erscheinenden Geschöpfe nur unvollkommene Stümper sein werden, wie uns die Floren und Faunen vergangener Erdperioden, die damals auch die bestmöglichen zu sein schienen, mit den heutigen verglichen, nur bescheidene Schöpfungsproben und Übergänge von ganz Unzulänglichem zu einigermaßen Leistungsfähigem erscheinen. Aber mag auch in künftigen Zeiten eine geradezu ideal gestaltete und aufs Höchste ausgebildete Schöpfung entstehen, von der wir kurzlebige, erst von gestern stammende Menschen mit unserem unzulänglichen Verstande uns überhaupt keine Vorstellung machen können, einmal wird die Entwicklung ein Ende nehmen und dieses Ende ist zugleich das Ende des Lebens.

„Scheint die Sonne noch so schön, einmal muß sie untergehn!“ Unser Zentralgestirn, dem noch ein Leben von vielen Jahrmillionen mit Sicherheit zu prophezeien ist, wird einmal immer dunkler werden und immer weniger strahlende Energie, von der nun einmal alles Leben der Erde abhängig ist, aussenden. Auch diesem abnehmenden Lichte werden sich die Pflanzen immer besser anzupassen wissen und ihren Tod immer weiter hinausschieben. Aber einmal wird ihre Leuchtkraft so weit herabgesetzt werden, daß das Assimilationsvermögen der Pflanze ganz aufhören muß, und damit ist auch das Schicksal der Tierwelt besiegelt, deren Existenz ganz von der Pflanzenwelt abhängt. Dann tritt der Tod die Alleinherrschaft auf der erkaltenden, ausgetrockneten Erde an. Aber auch er wird, mag sich seine Herrschaft auch auf Aeonen erstrecken, nicht ewig dauern. Ewig ist nur der Wechsel und die Erneuerung des Lebens. In der Wiedervereinigung mit der Sonne, von deren Materie sich die Erdmaterie einst vor Aeonen trennte, wird der erkaltete, abgestorbene, von Rissen zerklüftete und zuletzt geborstene Erdkörper Auferstehung feiern und einen neuen Lebenszyklus beginnen, wie er wahrscheinlich schon mehrfach solche beendet hat. Von dem strahlenden Sterne werden dann neue Weltkörper ihren Ausgang nehmen und Leben aus sich hervorbringen. Dieses Leben wird wieder wachsen und sich vom Niedrigen zum Höheren und Höchsten

Digitized by Google

entfalten und wieder vergehen. Endlos aber reiht sich das Neuwerden an das Vergehen. Das eine bedingt stets das andere und ist die Voraussetzung des anderen. Und wie der Altmeister Goethe vom tropfenden Wasser sagt:

„Vom Himmel kommt es, zum Himmel geht es,
Und wieder zur Erde nieder muß es in ewigem Wechsel“,

so läßt sich in ähnlichem Sinne vom Erdendasein sagen, daß es von der Sonne kommt, von der Sonne lebt und zur Sonne zurückkehrt in ewigem Wechsel, in endlosem Kreislauf.

Digitized by Google

IX.

Der Schutz des Lebens.

Alles Lebende muß sich stets aufs sorgfältigste gegen alle Einflüsse der Außenwelt, die das Leben irgendwie bedrohen könnten, zu schützen wissen, und zu diesem Zwecke bildet es die mannigfaltigsten Schutzmittel aus. Von ihnen müssen wir zunächst in Kürze reden, bevor wir näher den Mitteln und Wegen nachgehen, mit denen sich das Leben den Lebensbedingungen immer besser anzupassen und zu vervollkommnen sucht. Betrachten wir nun zunächst, wie es hierin die Erstgeborenen der Erde, die Sonnenkinder par excellence, die Pflanzen halten. Da die gesamte Tierwelt ohne Ausnahme von ihnen lebt, so müssen sie ganz besonders von Angriffen von dieser Seite bedroht sein, umsomehr als sie an den Boden gebannt sind und den sie von allen Seiten umgebenden Feinden nicht entfliehen können.

Selbstverständlich haben es die Tiere, die Pilze und alle andern Schmarotzer an der Pflanzenwelt, die keine selbständige Ernährung kennen, sondern direkt oder indirekt auf Raub an den von der Pflanze angesammelten Vorräten angewiesen sind, hauptsächlich auf die nahrhaftesten Teile der Pflanze, wo eben diese Nahrungsstoffe erzeugt oder aufbewahrt werden, abgesehen. Deshalb hat die Pflanze vor allem diese auf das wirksamste zu schützen. Es sind dies vor allem die weichen, an durch die Assimilation in der Sonne gewonnenen Nährstoffen reichen Blätter.

Äußerst mannigfaltig sind nun die Schutzmittel der grünen Blätter gegen die Angriffe der Tiere. Gegen das Abgefressenwerden derselben wehrt sich die Pflanze mit den mannigfaltigsten Stichwaffen, wie auch Giften und ätzenden Flüssigkeiten aller Art. Was zunächst die letzteren anbetrifft, so ist hervorzuheben, daß dieselben nur dort und insoweit in den Pflanzen zur Entwicklung kommen, als

Digitized by Google

notwendig ist, um dadurch den größten Teil des Laubes, und in zweiter Linie auch der Blüten und Früchte zu erhalten. Ebenso ist daran zu erinnern, daß eine und dieselbe chemische Verbindung nicht immer auf alle Tiere gleichmäßig als Gift wirkt. Das Gift der bekannten Tollkirsche, Atropa Belladonna, wirkt auf die größeren weidenden Tiere als Gift und wird auch von diesen stets unberührt stehen gelassen. Für das kleine giftfest gewordene Käferchen Haltica Atropae aber ist das Tollkirschenlaub nicht nur nicht giftig, sondern es macht die wichtigste Nahrung derselben aus. Es werden durch die Larven dieses Tierchens oft zahlreiche Löcher in die Blätter gefressen, welche aber durchaus nicht die Entwicklung der ganzen Pflanze beeinträchtigen oder nennenswert stören. Demnach sind die Blätter dieser Pflanze durch das in ihnen enthaltene stark narkotische Alkaloid Atropin nur gegen die Vertilgung im großen Maßstabe geschützt; beschränkte Teile derselben können ohne Nachteil von ihr preisgegeben und geopfert werden. Ähnlich verhält es sich mit zahlreichen andern Gewächsen, welche giftige Alkaloide oder andere, den großen, auf Pflanzenkost angewiesenen Tieren schädliche Stoffe enthalten.

Dabei ist es für unser Verständnis vollkommen rätselhaft, wieso die weidenden Tiere die ihnen nachteiligen Stoffe in den Blättern wahrnehmen können. In manchen Fällen besitzen ja die betreffenden Pflanzen eigentümliche Riechstoffe, welche wie auf unsere Geruchsnerven, so jedenfalls auch auf diejenigen der Tiere einen widerlichen Eindruck machen und diese dadurch gleichsam warnen, damit sie keine Unvorsichtigkeit begehen und das betreffende giftige Kraut verzehren, wie Stechapfel, Bilsenkraut und gefleckter Schierling. Viele andere giftige Arten aber, welche gleichfalls von weidenden Tieren gemieden werden, tragen Blätter, die für den Menschen, so lange sie unverletzt sind, geruchlos bleiben, so die zahlreichen Arten von Eisenhut, die schwarze Nieswurz, der Germer, die Herbstzeitlose, der Seidelbast, die Wolfsmilcharten und die Gentianen, welche niemals von Hirschen, Rehen, Gemsen, so wenig als von den weidenden Haustieren, ja nicht einmal von den genäschigen Ziegen berührt werden. So lange diese Pflanzen unverletzt auf der Wiese oder im Walde stehen, machen die ihnen eigentümlichen Stoffe auf unsere Geruchsnerven keinerlei Eindruck; wohl aber müssen diese Stoffe von den genannten Tieren durch den Geruchssinn wahrgenommen werden, und zwar bevor noch die Pflanze angebissen und verletzt wurde. Daß auch Gewächse, die keinerlei Alkaloide enthalten und überhaupt nicht als giftig für den Menschen

Digitized by Google



Rotbuchen-Kuhbüsche (vorderster Busch 3,5 m hoch) von der Weide des Hüttenwasens beim Feldberg im Schwarzwald, wie die Geißtannli der schweizerischen Alpenweiden durch beständiges Abgefressenwerden der jungen Triebe durch das weidende Vieh entstanden. (Nach Photogramm von L. Klein aus den Vegetationsbildern von G. Karsten und A. Schenk.)

Digitized by Google

gelten, von den weidenden Tieren sorgfältig gemieden werden, macht es wahrscheinlich, daß der Genuß derselben den genannten Tieren gleichfalls irgendwie von Nachteil ist. Das gilt insbesondere von den Moosen, den Farnen, den verschiedenen Dickblättern, mehreren Kressen, dem Leinkraut, dem breiten Wegerich und vielen Melden.

Daß die Schachtelhalme, die harten grünen Blätter der Rauschbeere und Bärentraube, der Alpenrose, Preißelbeere und noch zahlreicher anderer immergrüner niederer Sträucher, welche auf Heiden und Mooren sowie an den Gehängen der Hochgebirge einen Hauptbestandteil der Vegetationsdecke bilden, von den daselbst Nahrung suchenden Tieren gemieden werden, erklärt sich wohl daraus, daß das Gewebe dieser Pflanzen infolge der stark entwickelten, teilweise auch verkieselten Kutikularschichten unschmackhaft und wahrscheinlich auch unverdaulich ist. Also liegt auch in der Ausbildung einer sehr dicken und festen Oberhaut, besonders auch in der Einlagerung von Kieselsäure in dieselbe ein Schutzmittel weidender Tiere.



Fig. 246. Die nach ihrer Eigenschaft, am Grunde ihrer behaarten Blätter Tau und Regen zur Wasseraufnahme zurückhalten zu können als Taubecher bezeichnete Alchimilla vulgaris. Diese den Weidetieren unangenehmen Wasseransammlungen schützen die Blätter zugleich gegen das Abgefressenwerden.

Für manche Pflanzen ist das in besonderen Vertiefungen der Laubblätter angesammelte Wasser ein treffliches Schutzmittel gegen das Abgefressenwerden durch weidende Tiere. Am Morgen, wenn die Pflanzen reichlich betaut sind, weiden die Wiederkäuer überhaupt nicht; sie warten bis die den Blättern anhaftenden kalten Tau- und Regentropfen verdampft sind, und auch später lassen sie jene Pflanzen, denen Wassertropfen anhängen, beiseite. Sehr auffallend ist in dieser Beziehung das Frauenmäntelchen, Alchimilla vulgaris, welches im Volksmunde auch den Namen Taubecher führt. Auf dessen schalenförmigen Blättern bleiben Regen und Tau angesammelt, wenn auch ringsum auf der Wiese die andern Pflanzenarten an ihrer Oberfläche schon ganz trocken geworden sind. Während nun diese letzteren, soweit sie nicht auf andere Weise geschützt sind, von den weidenden Tieren abge-

Digitized by Google

fressen werden, bleiben die Taubecher unberührt und werden augenscheinlich gemieden. Daß hier nicht, wie bei den Farnen, der Gehalt an gewissen, den Tieren unangenehmen Stoffen im Spiele ist, geht daraus hervor, daß die Blätter der Alchimilla, von denen das Wasser



Fig. 247. Riesenbambus aus Siam. Diese durch gewaltige Einlagerungen von Kieselsäure sich schützende und festigende Grasart treibt ihre mit stahlharten Scheiden bekleideten, spitzen jungen Sprosse mit solcher Gewalt aus dem Boden, daß man früher als überaus grausame malaiische Todesart Menschen über solche wie Spargelköpfe hervorbrechenden Bambustriebe mit Pflöcken an allen vier Extremitäten am Boden befestigte, um sie so langsam durch sie aufspießen beziehungsweise durchwachsen zu lassen. Mit welcher Gewalt selbst weiche Pflanzenteile aus dem Boden sprossen können, beweisen jene allerdings seltenen Fälle, in denen Hutpilze bei ihrem Hervorbrechen selbst Teile eines harten Asphaltbelages in die Höhe hoben, um sich Luft zu machen.

abgeschüttelt wurde, ganz gern als Nahrung von den weidenden Tieren angenommen werden. Es muß also den Tieren irgendwie unangenehm sein, Blätter abzuweiden, in welchen Wasser angesammelt ist.

Viel häufiger als solche chemische oder passive Schutzmittel sind, abgesehen von Einlagerungen von gewaltigen Mengen von Kieselsäure, die gleichzeitig zur Festigung dienen, wie bei den Bambusarten, die

Digitized by Google

Waffen der Pflanze, die man als Dornen und Stacheln bezeichnet. Erstere nehmen aus dem Holzkörper ihren Ursprung, während letztere von der Haut oder Rinde ausgehen und im Innern keine Gefäßbündel enthalten. Also hat wohl der Weißdorn Dornen, nicht aber die Rose; diese hat Stacheln. Größe, Richtung, Stellung und Verteilung dieser Waffen richtet sich ganz nach Art des Angriffs, nach der Form und Größe der nahrungsuchenden Tiere und nach der Gestalt der den Angreifern zur Verfügung stehenden Werkzeuge. Die riesigen Schwimmblätter der Victoria regia sind nur auf der unteren Seite und am aufgebogenen Rande, wo sie den Angriffen pflanzenfressender Wassertiere ausgesetzt sind, mit Stacheln bewaffnet. Interessant ist auch die Tatsache, daß manche Holzgewächse nur im jugendlichen Zustande, bloß so lange als sie niedrig sind und ihr Laub von den Pflanzenfressern erreicht werden kann, bewehrt sind, daß sie aber an jenen Ästen und Zweigen, welche dem Maule der betreffenden Tiere entrückt sind, keine Dornen und Stacheln entwickeln. So starren die jungen, nur 1—2 m hohen Bäumchen des wilden Birnbaums von den Dornen, in welche sich die Enden der holzigen Zweige umwandeln, während die Zweige in den Kronen der zu 4 und 5 m herangewachsenen Bäume vollkommen dornenlos bleiben. Ähnlich verhält es sich mit der chinesischen Gleditschie und der Stechpalme. An letzterer sind die Blätter, welche die Zweige in der Krone hochstämmiger Bäume schmücken, fast ganzrandig und unbewehrt, während an den strauchartigen Exemplaren der Rand der Blätter in sparrig abstehende, spitze Zähne ausgezogen ist. Bei der fälschlicherweise Akazie genannten Robinie finden sich am Grunde der Blattstiele als Schutzwehr der Knospen und der jungen Blätter zwei aus umgewandelten Nebenblättern entstandene scharfe Stacheln, die sich nicht mehr bilden sobald die Pflanze eine gewisse Höhe erreicht hat. Ähnliches findet sich bei zahlreichen andern auf solche Weise geschützten Gewächsen.

Je trockener ein Klima ist und je begehrter infolgedessen grünes Laub und saftige Stengel für die hungrigen und durstigen Tiere sind, um so mehr hüllen sich die grünen Pflanzenteile, um nicht den endlosen Angriffen jener ganz zu erliegen, in ein Gewirr von Dornen und Stacheln. Bei zahlreichen Pflanzen laufen die Enden der grünen Zweige in Dornen aus, welche den Angreifern entgegenstarren. Viele grüne Blätter sind mit scharfen Stacheln, spitzen Borsten und stechenden Haaren bedeckt oder sie haben selbst nadelförmige Gestalt. An die Nadelform der Laubblätter reiht sich jene an, welche man am besten

Digitized by Google

mit dem Fortsatze des Schwertfisches vergleichen kann, indem sich seitlich ein scharfer Zahn an den andern reiht. Bei den Disteln ist das ganze Blatt wie in viele Zipfel zerschnitten, deren Enden in starre Spitzen auslaufen. Viele Borsten an Blättern tragen Widerhaken mit verkieselten Spitzen, die bei Berührung sehr unangenehme Wunden verursachen und sich immer weiter in das Fleisch einkeilen. Noch weit bösartiger sind die Angelborsten, die sich bei den Opuntien oder Feigenkaktussen stets in der Umgebung der zarten Knospen befinden, welche sich über dem grünen Gewebe als feinborstige Warzen erheben. Die Oberfläche zahlreicher Blätter ist mit einzelligen verkieselten Stechborsten in großer Zahl bedeckt, die ihre Spitzen stets jener Seite zuwenden, von welcher ein Angriff zu erwarten ist. Andere sind wieder mit Brennhaaren oder Brennborsten gespickt, deren Spitze knieförmig gebogen ist. An dieser Beugungsstelle ist die Zellhaut ungemein dünn, so daß die leiseste Berührung genügt, um ein Abbrechen des Köpfchens zu veranlassen. Dadurch, daß dieses Abbrechen in schräger Linie erfolgt, wird eine sehr scharfe Spitze erzeugt und die durch das Abbrechen gebildete Öffnung ist nicht quer über, sondern schräg seitlich gestellt, so daß das abgebrochene Ende dem Giftzahne einer Schlange oder der Einstichkanüle einer von den Ärzten zu subcutanen Injektionen gebrauchten Pravazspritze sehr ähnlich sieht. Diese Spritze dringt nun in die Haut, besonders in die empfindlichen Lippen der diese Pflanze berührenden Tiere ein und ergießt ihren scharf ätzenden, außer Ameisensäure noch ein eine heftige Entzündung bewirkendes Enzym enthaltenden Inhalt in die Wunde. Ist dieses Brennen und die Entzündung schon bei unseren einheimischen Nesseln unangenehm

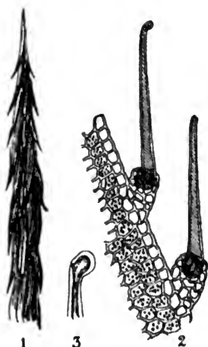


Fig. 248. 1. Mit Widerhaken versehene Stechborste des Kaktus Opuntia Rafinesquii (100fach vergrößert). 2. Durchschnitt durch ein mit 2 Brennhaaren versehenes Blattstück der großen Brennessel, Urtica dioica (80fach vergrößert); am untern derselben ist das köpfchenförmige Ende durch Berührung abgebrochen. 3. Intakte, zum leichten Abbrechen vorbereitete Spitze eines Brennhaares der Brennessel. (150fach vergrößert.)

Digitized by Google

genug, so gibt es in den Tropen Arten, deren Berührung Krampfanfälle und Vergiftungserscheinungen wie nach Schlangenbiß veranlaßt. So gut nun auch die Nesseln geschützt sind, so wird ihr Laub doch von den Raupen des kleinen Fuchses, Vanessa urticae, trotz der Brennhaare abgefressen; aber diese Schädigung bezieht sich nur auf einen kleinen Teil der Blätter. Aus den unberührten Stengeln und Knospen können sich immer neue beblätterte entwickeln und infolgedessen können diese Angriffe der Raupen die Nesselstaude nicht zugrunde richten.

Viele Blätter, die gegen zu weitgehende Transpiration mit einem Filze von strahlenförmig verästelten, an kleine Tannenbäumchen erinnernden Haaren geschützt sind, lösen sich, wie bei der Königskerze, bei der leisesten Berührung ab und bleiben an der Mundschleimhaut der Tiere hängen, was ein unausstehliches Kratzen und Jucken hervorruft, das zweifellos die Tiere abhält, solchermaßen geschützte Gewächse abzufressen.

Überall werden also, besonders die jungen Triebe, durch zahlreiche Stacheln und kräftige Dornen geschützt, welch letztere bei amerikanischen Weißdornarten bis 8 cm lang werden können. Manche Dornen sind anfänglich weich und saftreich, enthalten in ihrer Rinde grünes Gewebe und funktionieren zunächst ganz so, wie die neben ihnen stehenden schmalen Laubblätter. Als Schutzmittel spielen sie wegen ihrer Weichheit im ersten Jahre keine Rolle. Im Herbste fallen die grünen Laubblätter von den Sprossen ab, die Enden der in Dornen auslaufenden Zweige sind zwar auch abgestorben und verdorrt, aber sie bleiben zurück, um die aus den Seitenknospen hervorwachsenden jungen Triebe des folgenden Jahres aufs beste gegen etwaige Angriffe vonseiten der Pflanzenfresser zu schützen. So entstehen mit der Zeit struppige Büsche, von deren Peripherie eine Menge abgedorrter dorniger Äste wegstarren, als sei der ganze Stock im Absterben. Besonders die Mittelmeerflora kennt viele solcher unansehnlicher Gestrüppe, die bereits der Begründer der Pflanzenkunde, der im Jahre 390 vor Christus auf Lesbos geborene und 286 gestorbene Grieche Theophrastos, ein Schüler des großen Aristoteles, unter dem Namen Phrygana zusammengefaßt hat. In nördlicher gelegenen Landstrichen, welche der Sommerdürre nicht wie jene ausgesetzt sind, und wo die weidenden Tiere auch im Sommer genügend grünes Futter finden, fehlt diese Pflanzenform nahezu ganz, nur in den Heiden und Nadelwäldern des mittleren und westlichen Europa ist sie durch einige Ginsterarten vertreten. Aber gerade in diesem Gebiete erhalten gewisse Sträucher und junge Bäumchen, welche

Digitized by Google

der oben geschilderten Dornenbildung entbehren, durch die weidenden Tiere selbst eine Gestalt, die lebhaft an die Phryganaform erinnert. Indem an ihnen stets die jungen, zarten Triebe abgefressen werden entwickelt sich rings um so verstümmelte Bäume ein dichtes Gezweig starrender trockener Äste, die selbst die genäschigen Ziegen abhalten, eine solche Rüstung zu durchbrechen.

Bei den mittelamerikanischen Nopalgewächsen, den Kakteen und einigen säulenförmigen Euphorbien sind die Stengel die saftigen, grünen



Fig. 249. Typische Kakteenlandschaft in den Bergen östlich von Tehuacan in Mexiko. (Nach Photogramm von Dr. H. Roß).

assimilierenden Organe, während die Blätter in starre, graue oder braune Dornen umgewandelt sind, welche jene vor Tierangriffen zu schützen haben. Bei den niedern Traganthsträuchern der felsigen Gebirge und Hochsteppen des Orients bilden sich die abgedorrten, zu Dornen gewordenen Blattreste des einen Jahres zu einem stechenden Schutzkranze um die sich entwickelnden grünen Laubblätter des folgenden Jahres. Ähnlich ist es beim Sauerdorn und manchen Akazien. So kann ein und dasselbe Pflanzenorgan, selbst wenn es abgestorben ist, noch eine wichtige Rolle im Leben der Pflanze spielen.

Digitized by Google

Andere Pflanzen strotzen von giftigem Milchsaft, schmecken durch reichen Gerbstoffgehalt gallenbitter oder durch die verschiedenen Säuren scheußlich sauer. Auf die letztere Art werden Früchte vor der Samenreife vor Tierfraß geschützt. Erst wenn diese eingetreten ist, werden die Säuren und Bitterstoffe aus dem saftig werdenden Fruchtfleische entfernt und dafür Zucker und aromatische Duftstoffe erzeugt, auch die Oberfläche der Früchte in bunten Farben, meist auffallenden Komplementärfarben zum Laube, geschmückt, damit die betreffenden Tiere, meist scharfsichtige Vögel, sich zum angebotenen leckeren Mahle einfinden und dann die Samen weithin verschleppen.

Viele ungeschützte Pflanzen wachsen im Schutze von geschützten. So sieht man gewisse wilde Wicken, Platterbsen- und Doldengewächse, welche für weidende Säugetiere ein sehr gutes Futter abgeben würden, regelmäßig in den stachligen Hecken längs den Straßen und unter dem dornigen Gestrüpp, welches als schmaler Saum den Rand des Hochwaldes umgürtet, wachsen. So haben sich vielfach unter den Pflanzen die merkwürdigsten Ernährungsgenossenschaften gebildet, auf die wir leider aus Raummangel nicht näher einzutreten vermögen.

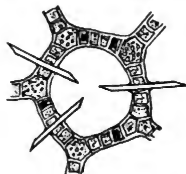


Fig. 250. Raphiden aus dem Blattstiele der mit Luftsäcken auf dem Wasser schwimmenden, schön blau blühenden Pontederia crassipes. (Nach Wiesner.)

Wie gegen die großen Tiere haben sich zahlreiche saftige Kräuter gegen niedere Tiere, besonders gegen die gefräßigen Schnecken zu schützen. Dazu dienen entweder chemische Mittel, wie saure, ätzende, jenen Weichtieren unangenehme Stoffe oder, als ganz besonders wirksame Schutzwehr, in den Zellen ausgebildete nadelförmige Kristalle von oxalsaurem Kalk, die in zahlreichen solchen Pflanzenarten gefundenen, bereits kurz erwähnten Raphiden, an denen sich die etwa zubeißenden Schnecken so gründlich ihre Zunge verletzen, daß sie künftighin dermaßen geschützte Pflanzen sorgsam meiden.

Gehen wir nach der Anführung dieser wenigen Beispiele aus dem Pflanzenreiche zum Tierreiche über, so finden wir ganz dieselben Schutzwaffen bei den schwachen, sich passiv gegen Angriffe von Feinden schützenden Tieren. Welch scharfe Stacheln und Borsten besitzen nicht zahllose Vertreter der Wirbellosen, von den einzelligen Radiolarien, Seeigeln, bestachelten Krebsen, Muscheln und Schnecken bis hinauf zu den Wirbeltieren, wie Stachelfischen, Stachelechsen, Ameisen-

Digitized by Google

igel, Igel und Stachelschwein. Zahllose andere wehren sich mit Giften um ihr Leben, die sie oft in hohlen Stacheln, wie manche Seeigel und Fische, bergen, die leicht abbrechen und die unvorsichtigen Angreifer schwer schädigen, ja oft töten. Die Schlangen und andere giftige Reptilien haben die Ohrspeicheldrüsen in formidable Giftbereitungsstätten umgewandelt, deren Erzeugnis sie durch besondere Giftzähne in die Bißwunde ihrer Opfer leiten, um diese durch Herzgifte zu lähmen und zu töten, damit sie sich damit ernähren können. Die beiden Giftdrüsen münden eigentlich bei ihnen frei an der Mundhöhlenwand, ebenso die obere Öffnung der dazu gehörenden beiden, vorn im Oberkiefer sitzenden Giftzähne. Da aber beide Öffnungen ganz dicht bei einanderliegen und der Rand der Drüsenöffnung sich dicht an den Zahn, um die Zahnöffnung herumlegt, kann das Gift nicht in den Mund hinabfließen, sondern strömt in einer tiefen Rinne der Vorderseite, deren Ränder aneinanderschließen oder gar verschmolzen sind, durch den in der Nähe der Spitze sich öffnenden Giftzahn hindurch. Diese gefährliche Giftwaffe schützt die Tiere nicht nur vor feindlichen Angriffen, sondern hilft ihnen gleichzeitig auch die Beutetiere wehrlos zu machen und zu lähmen.

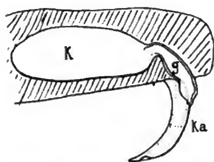


Fig. 251. Giftdrüse k und Giftzahn mit Kanal ka einer Schlange, g Ausführungsgang.

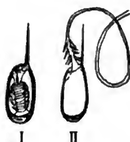


Fig. 252. Aus je einer Zelle bestehende Nesselkapseln der Cnidarier mit Zellkern an der Basis und Tastborste oben, I im geladenen, II im abgeschossenen Zustande.

Diese Giftwaffen sind schon bei den niedrigsten Tieren in bewunderungswürdiger Weise ausgebildet, so beispielsweise bei sämtlichen Coelenterateen oder Hohltieren, den Hydrozoen, den Medusen, Quallen, Rippenquallen und Korallen, die wegen dieser einheitlichen Wehr als Cnidarier, d. h. Nesseltiere, zusammengefaßt werden. Die ganze Körperoberfläche dieser Tiere, besonders an den Fangarmen, ist nämlich mit zahllosen Nesselzellen bedeckt, deren jede an ihrem äußern Ende ein feines Stiftchen, ein sogenanntes Tasthaar, trägt und in ihrem Innern eine Nesselkapsel beherbergt. Es ist dies ein blasenförmiges Gebilde, das als Plasmaprodukt im Innern einer Ektoderm- oder Oberhautzelle neben dem Kerne entsteht, bis an die

Digitized by Google



Säulenkaktus, Cereus, als Wegeinfassung auf dem Hochlande von Anahuac in Mexiko. Diese dürrem Boden angepaßte Pflanze hat ihre Blätter in Stacheln umgewandelt und die Assimilationsorgane auf die Stengel beschränkt, in denen gleichzeitig reichlich Speichergewebe für Wasser ausgebildet wurde. (Nach Photogramm von C. B. Waite in Mexiko.)

Digitized by Google

Körperoberfläche reicht und hier in ein Tasthaar endigt. Bei Berührung des letztern wird das Protoplasma der Nesselzelle gereizt und blitzschnell schießt der lange, im Innern der Kapsel aufgewickelt gewesene Faden hervor. Wie ein Wurfspieß bohrt sich diese sehr spitze und mit Widerhaken versehene Wurfwaffe in die Haut des unvorsichtig es berührenden Tieres ein und scheidet eine scharfätzende, giftige Flüssigkeit aus, die kleine Tiere vollständig lähmt und bei größeren sehr heftiges Brennen und Entzündungen hervorruft, so daß diese sich sehr wohl hüten, einem solchen Träger von Nesselorganen zu nahe zu kommen. Diese vorzügliche Angriffs- und Schutzwaffe, die sich besonders bei den meist wunderschön gefärbten, nur in der salzigen Meeresflut vorkommenden Seeanemonen und Quallen in unzählbarer Menge bildet — hat doch ein einziger Arm der grünen Seerose deren viele Millionen — wird nach dem Abschießen stets wieder neu gebildet.

Meist schützt sich das höhere Tier im Gegensatz zur passiven, bodenständigen Pflanze durch offensiven Angriff. Seine Verteidigungswaffen sind gleichzeitig auch Angriffswaffen. Die Krallen und Zähne des Raubtieres dienen wie zur Verteidigung so auch zum Ergreifen der Beute. Säugetiere mit kräftigen Hufen und Laufvögel, wie die Strauße, mit langen, starken Beinen, schlagen zu ihrer Verteidigung mit denselben so kräftig aus, daß einem Angreifer Hören und Sehen vergehen kann. Der Molukkenkrebs und gewisse Rochen besitzen zu ihrem Schutze einen für die Angreifer sehr zu fürchtenden Schwanzstachel. Andere Tiere suchen diese sonstwie fernzuhalten und abzuschrecken durch Ausspritzen von übelriechenden oder ätzenden Sekreten; dahin gehören der stinkende oder klebrige Speichel vieler Insektenlarven, wie auch die Stinkdrüsen der bekannten Stinktiere. Diese letzteren, die Amerika bewohnen und ihren fürchterlichen, gelben, öligen Saft mehrere Meter weit von sich spritzen können, sind sich ihrer von allen mit scharfem Geruchsorgane ausgestatteten Tieren wie die Pest gemiedenen Waffe so wohl bewußt, daß sie sich langsam und ohne Scheu auf dem Boden dahinbewegen und selbst in offenem Gelände ruhen oder nach irgend etwas Genießbarem herumschnüffeln. Sehr oft begnügen sich die Tiere zur Einschüchterung des Angreifers heftig zu schreien, Furcht erregende Stellungen einzunehmen, die Federn oder Haare zu sträuben und was solche Schreckmittel noch mehr sind.

Äußerst mannigfaltig sind die defensiven Schutzmittel ausgebildet, wie feste Panzer, Schutzröhren bei Insekten und Würmern, Schalen bei Weichtieren. Manche Tiere bedecken sich zum Schutze,

Digitized by Google

namentlich auch, um sich dadurch verbergen zu können, mit Fremdkörpern aller Art. Gewisse Insektenlarven tragen eine Decke von Sand, winzigen Schalen oder vom eigenen Kot mit sich herum; manche Krabben sind auf ihrer Oberseite mit einem Walde von Algen, Hydroidpolypen, Seeanemonen oder Schwämmen bedeckt, deren Nesselorgane ihnen außer ihrem eigenen Panzer zum Schutze dienen und sie auch vor ihren Feinden wie auch vor ihren Beutetieren verbergen.

Während die Pflanze durch ihre Assimilationsorgane grün ist und nur an den Blüten oder Früchten andere Farben entwickelt, um Tiere zur Befruchtung oder zum Ausstreuen von Samen herbeizulocken, spielt die Färbung als Schutzmittel im Tierreich eine ungeheure Rolle. Die meisten Tiere sind ihrer Umgebung entsprechend gefärbt, so fast alle Weichtiere — außer eben die mit den gefürchteten Nesselorganen gefärbten, die sich gerne in bunte Farben hüllen, wie die Seeanemonen und Korallen —, die Fische, Lurche, Reptilien, Vögel und Säugetiere. Die Sand- und Wüstentiere tragen die gelbe Sandfarbe ihres natürlichen Wohngebietes, die Erdtiere sind der Bodenfarbe entsprechend braun in den verschiedensten Schattierungen, die in Schneegebieten hausenden sind weiß wie ihre Umgebung, die im grünen Urwald mit den bunten Blüten der Schlinggewächse sich aufhaltenden grün oder bunt wie diese selbst gefärbt. Die im Dschungel mit abgestorbenen gelblichen Riesengräsern lebenden, wie der Königstieger, sind in Nachahmung der dort auftretenden dunkeln Schattenrisse quergestreift auf gelbem Grunde, die im Geäst von Bäumen lauernden dagegen, wie Panther und Schlangen, wie auch die unter breitschirmigen Akazien deren Laub abfressenden Giraffen sind in Nachahmung der mit schillernden Sonnenflecken wechselnden unregelmäßigen Schatten bunt gefleckt wie der Untergrund, auf dem sie sich gewöhnlich aufhalten. Zahlreiche Wassertiere endlich sind glasartig durchsichtig, die an der Wasseroberfläche schwimmenden dagegen blau gefärbt, um sich den Blicken ihrer Feinde, namentlich der scharfsichtigen Seeraubvögel, möglichst zu entziehen; denn ein tiefdunkles Kobaltblau ist die Farbe der Meeresoberfläche nicht nur der Tropen, sondern auch der gemäßigten Zone, ja selbst der Eismeere an bestimmten Stellen. So finden wir zahlreiche Quallen, Schnecken und Krebse der Hochsee in diese Farbe gekleidet, um sich vor dem lauernden Blicke ihrer stets hungrigen Feinde zu schützen und ungestört von den Meeresströmungen dahintreiben zu lassen. Dabei lassen eine Anzahl solcher blaugefärbter Geschöpfe, namentlich verschiedene Krebse, auf ihrer Oberseite eigentümliche weiße

Digitized by Google

Flecken erkennen, die, zumal bei unruhiger See, täuschend die Schaumflöckchen der Wellen nachahmen.

Eine ganz eigenartige Farbenanpassung läßt sich bei den Bewohnern des Sargassos nachweisen, jener von den warmen Küsten namentlich des Atlantischen Ozeans losgerissenen und durch die Strömungen in bestimmten Gebieten zusammengetriebenen Tangmassen. Die Fauna, welche diese „Meereswiesen" bewohnt, zeigt in Form und Farbe eine vortreffliche Anpassung an ihren speziellen Aufenthaltsort. Nicht nur finden sich bei der Hautfärbung dieser Tiere hauptsächlich grünlich-braune Töne verbreitet, sondern vielfach weist auch ihr Körper, zumal bei Fischen, fetzen- und lappenartige Anhänge auf, wodurch der Tang, zwischen dem sie leben, aufs täuschendste nachgeahmt wird.

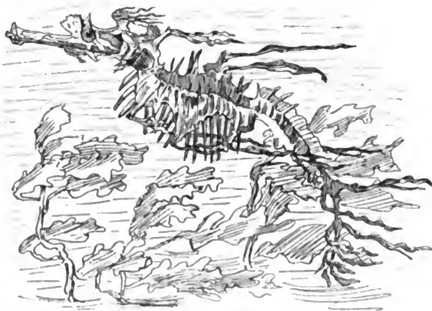


Fig. 253. Nachahmung von Seetang durch den Fetzenfisch, Phyllopteryx eques. (1/3 natürlicher Größe).

Meist sind aber bei allen diesen Schutzfärbungen nur der Rücken und die Seiten in den betreffenden verbergenden Farbentönen gehalten, während die Unterseite dagegen glänzend weiß erscheint, wodurch Schutz sowohl gegen die von oben her lauernden Raubvögel als auch gegen die von unten her drohenden Raubfische und andere Feinde erreicht wird. Aus dem gleichen Grunde haben Fische, Schwimm- und Flugvögel stets eine dunkle, dem Untergrunde, auf dem sie leben, angepaßte Rückenseite und eine dem lichten Himmel, gegen welchen sie projiziert erscheinen, entsprechende helle Bauchseite. Aber auch bei Landtieren, den meisten Vögeln und Säugetieren, bei denen eine solche Projektion auf eine helle Fläche nicht vorkommt, ist die Unterseite stets heller gefärbt und wird dieser Farbenwechsel durch feinste Abschattierung

Digitized by Google

vermittelt. Diese Eigentümlichkeit bezweckt in diesen Fällen die Wirkung des Eigenschattens aufzuheben, die sonst in ihrem ganzen Umfange von oben bis unten gleichfarbige Tiere unten weit dunkler als oben erscheinen ließe und sie so besonders auffallend machen würde. Erst diese durch die Mitwirkung des Tageslichtes erzeugte Schattierung, welche den eigenen Schatten aufs weitgehendste mildert, verbirgt das Tier vollkommen auf dem Untergrunde, auf dem es lebt. Als man versuchsweise einigen solchen Tieren den Bauch ebenso dunkel wie den Rücken färbte, waren sie sehr auffällig und erschienen sie geradezu als schwarze Klumpen.

Viele träge sich bewegende, kaltblütige Wirbeltiere, wie Fische, Lurche und Reptilien — unter ihnen seien als Beispiele nur die Rochen

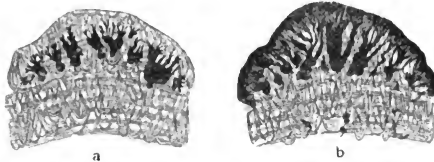


Fig. 254. Stück der Körperoberfläche eines sympathisch die Farbe wechselnden Frosches. Bei a die dunkeln Pigmentzellen in der Ruhe, bei b dagegen im Aufsteigen und sich Ausdehnen begriffen, wobei die Färbung des Tieres dunkler wird. (Stark vergr.)

und Seitenschwimmer, Frösche, gewisse Eidechsen und das Chamäleon erwähnt — genügen ihrem Schutzbedürfnis in anderer Weise, indem sie ihre Färbung der jeweiligen Unterlage so vollkommen anpassen, daß auch das geübteste Auge sie kaum herauszufinden vermag. Dies geschieht automatisch durch Zusammenziehung oder Ausbreitung in der Haut verteilter, verschiedenfarbiger Pigmentzeller, der sogenannten Chromatophoren. Zu unterst in der Lederhaut sitzen gewöhnlich die schwarzen, weiter oben die braunen und roten und zu oberst, hart an der Epidermis, die gelben Farbstoffzellen. Durch ihr wechselndes Spiel wird der Farbenwechsel durch Vermittlung des Nervensystems, ohne Mitwirkung des Bewußtseins, doch mit Hilfe der Augen, vollzogen. Diese sogenannte chromatische Funktion hängt nämlich in erster Linie von der Unversehrtheit der Augen ab. Bei Erblindung des betreffenden Individuums hört sie vollkommen auf; halbseitige Erblindung hat den Verlust des Farbenwechsels für die betreffende

Körperhälfte zur Folge. Durch optische Reaktion der Augen auf die Farben der Umgebung erfolgt bei diesen Tieren die Farbenänderung reflektorisch vom Gehirn aus, also unbewußt und ohne Überlegung oder Willen des Tieres. Aber auch Aufregung, Angst, Schreck, Freude, Kälte und Wärme, starker und geringerer Lichtreiz ändern die Stimmung des Nervensystems und wirken dadurch auf die durch alle diese verschiedenen Reize in besonderer Weise beeinflußten beweglichen Farbstoffzellen ein. Daher kommt es, daß, wie der Bonner Zoologe F. Leydig zuerst feststellte, Fische, Lurche und Reptilien mit unbepanzerter zarter Haut in Sonnenlicht und Wärme, in allen Situationen, bei denen es ihnen behaglich und wohl zu Mute ist, hell werden, indem die dunkeln Chromatophoren in der Tiefe auf ein Minimum zusammenschrumpfen und dadurch gleichsam ganz ausgeschaltet werden, wogegen die Tiere im Dunkeln und bei Kälte, ebenso beim Erschrecken, kurz in allen Fällen, in denen das Nervensystem heruntergestimmt ist, dunkel werden.

So wirken die mannigfaltigsten Faktoren auf die jeweilige Färbung dieser Tiere ein. Gleicherweise wie die Chamäleons sind auch die Laubfrösche bei hellem Himmel, warmer Witterung und Windstille, wenn es ihnen so recht behaglich zumute ist, schön hellgrün bis gelb, bei bedecktem Himmel und heruntergegangener Temperatur, wenn es ihnen beginnt ungemütlich zu werden, dagegen schmutziggrün, bei Kälte aber geradezu schwärzlich gefärbt. Werden ganz schwärzliche Grasfrösche zur Winterszeit aus der Kälte in das geheizte warme Zimmer gebracht, so werden sie binnen zwei Stunden ganz hellgelb. Die Wechselkröte, Bufo variabilis oder viridis, vertauscht ihr helles, mit schönen grasgrünen, schwarzumrahmten Flecken verziertes Kleid bei Kälte, schlechtem Wetter und Absperrung vom Licht gegen ein dunkelgraues oder schwärzliches, der Flecken entbehrendes mißfarbiges Gewand, um bei zurückkehrendem Wohlbehagen aufs neue intensivere, schönere Farben anzunehmen. Solche Beispiele ließen sich noch eine Menge anführen.

Bei zahlreichen, die chromatische Funktion nur noch in unbedeutendem Grade besitzenden Tieren fixiert sich mit der Zeit die Färbung mehr oder weniger, so daß diese Tiere sich in ihrer Färbung der Farbe des Untergrundes, auf welchem sie leben, vollkommen anpassen. So wußte der Zoologe R. Wiedersheim in Freiburg im Breisgau auf der 50. Versammlung Deutscher Naturforscher und Ärzte in München von einem solchen Falle zu berichten, der unsern gemeinen grauen

Digitized by Google

Grasfrosch betrifft. In der Nähe der Landstraße von Ponte nach Samaden im Engadin beobachtete er an pflanzenleeren, mit bunten Granitstückchen, die mit mannigfach gefärbtem Feldspat durchzogen waren, bedeckten Wassergräben solche Frösche, die bei seiner Annäherung sofort in die Gräben stürzten, um sich am Boden zwischen den Granitstückchen platt auszustrecken. Nur mit Mühe konnte man sie daselbst bei genauem Hinsehen bemerken, so auffallend entsprach ihre Färbung dem Untergrund, auf dem sie Schutz zu suchen pflegen. So fixiert sich gleicherweise auch bei den Fischen die Färbung je nach der Farbe des Untergrundes, auf dem sie aufwuchsen. In schlammigen, trüben Gewässern zeigen sie dunkle, unscheinbare Farben, in klaren dagegen wird die Färbung schöner, leuchtender. So finden sich nach dem größten Fischkenner unserer Zeit, dem aus Eßlingen gebürtigen, seit über 30 Jahren als Direktor an der Abteilung für Fische im Britischen Museum in London amtenden Albert Günther, Forellen mit lebhaften Augenflecken nur in den klaren und schnell dahinströmenden Alpenbächen; in Seen mit Kiesgrund dagegen erscheinen sie mehr silberschimmernd, in solchen mit schlammigem Grunde dagegen dunkel gefärbt. Wenn sie in Höhlungen und Löchern leben, können sie eine fast gleichmäßig schwarze Färbung annehmen.

Aber nicht nur bescheidene, auch sehr bunte Färbungen können Schutzfarben bilden, wenn die Umgebung eine bunte ist. Alle Tiere, die zwischen den bunten Korallen auf den Korallenriffen, oder zwischen den in allen Regenbogenfarben prangenden Aktinien oder Seeanemonen leben, die sich, wie bereits bemerkt, im Besitze der gefürchteten Nesselorgane nicht zu verbergen brauchen, müssen, um nicht aufzufallen, ebensolche bunte Kleider anhaben. Schreiend bunt gefärbte, namentlich blaue Seeigel, sattrote Seesterne, die auch mit scharfen Stacheln bewehrt sind, und Fische in den lebhaftesten Farben, die der vielgereiste Zoologe Prof. Konrad Keller in Zürich treffend als „Kolibris des Meeres" bezeichnet hat, bevölkern diese Riffe. Erst außerhalb jenes ihres bunten Heimatgebietes fallen alle diese Tiere auf. Hascht man nach ihnen, so sind sie im Augenblick in ihre Verstecke verschwunden, wo auch das geübteste Auge sie nicht mehr herauszufinden vermag.

Ebenso besitzen die vorzugsweise grell orange-, zinnober- oder purpurrote Farben aufweisenden Seesterne, Seeigel, Krebse und viele Fische der tieferen Gebiete der Strandzone in diesem uns auffallend bunt erscheinenden Kleide eine Schutzfärbung. Diese Farben bilden nämlich Komplementärfarben zu den Farben ihrer Umgebung. Indem nämlich

Digitized by Google

das Sonnenlicht in die Meerestiefe eintaucht, werden successive zuerst die in ihm enthaltenen gelben, dann die roten, später die blauen und zuletzt die grünen Strahlen ausgelöscht. In der Zone der blauen Beleuchtung leben nun vorzugsweise Tiere mit gelber Farbe, die eine Komplementärfarbe zu blau bildet, weiter unten die mit orange und zuletzt die mit roter Farbe, die wiederum Komplementärfarben zu blaugrün und grün sind und ihre Träger auf dem betreffenden Hintergrunde ebenso vollkommen verschwinden lassen, wie die an der bewegten Wasseroberfläche lebenden Fische sich durch den die mannigfaltigen Lichtreflexe dieser Schichten nachahmenden Silber- und Perlmutterglanz unsichtbar zu machen im stande sind.

Während bei den Polartieren die dem Schnee angepaßte weiße Färbung eine dauernde ist, wechselt sie bei unsern Alpentieren. Nur die stets zwischen Eis und Schnee lebenden, wie der Eisbär und der amerikanische Polarhase, haben, wie zahllose Möven, ein beständig weißes Schutzkleid an. Andere, wie Polarfuchs, Schneehase, Hermelin, Schneeeule usw. sind, wie manche unsrer Hochgebirgstiere, nur im Winter ganz weiß. Wenn der Schnee weggeschmolzen ist, vertauschen sie ihr grellweißes Winterkleid gegen ein erdfarbenes dunkles Sommerkleid. So gleicht beispielsweise das im Winter blendend weiße Schneehuhn im Sommer genau den flechtenbewachsenen Steinen, zwischen denen es sich aufhält, daß man eher darauf tritt, als daß man es sieht.

Alle schwachen, wehrlosen Tiere haben außer der sympathischen, d. h. mit ihrer Umgebung übereinstimmenden Färbung noch andere Schutzmittel im Kampfe ums Dasein. Entweder sind sie sehr schnellfüßig und vermögen sich bei ihrer Entdeckung der Gefahr durch beschleunigte Flucht zu entziehen, wie die Hasen, die Springmäuse, die Antilopen, die Pferde, Strauße usw., oder sie helfen sich durch Verkriechen, wobei die vordern Extremitäten vielfach zu außerordentlich kräftigen Grabschaufeln umgewandelt wurden. Noch andere, besonders sehr zahlreiche Insekten, die nicht rasch genug dem sie überraschenden Feinde zu enteilen vermögen, behelfen sich einfach damit, daß sie sich alsbald tot stellen. Gerade bei diesen Tieren ist die Schutzfärbung in einem wirklich verblüffenden Maße ausgebildet. Unsere zahlreichen Nachtschmetterlinge und Motten ahmen in ihrer Flügelzeichnung, Färbung und Schattierung die Gegenstände, auf denen sie tagsüber ruhen, Baumrinden aller Art, altes Holzwerk mit seinen Adern, grüne oder verwelkte, durch Einwirkung von Schmarotzerpilzen fleckig gewordene Blätter, Kothäufchen und andere wenig verlockende

Digitized by Google

Dinge mehr aufs täuschendste nach. Werden solche Tiere, die, vermöge ihrer Unfähigkeit sich am Tage durch die Flucht ihren Verfolgern zu entfliehen, nur durch sympathische Färbung ihres Kleides Rettung finden und sich vor der völligen Ausrottung bewahren konnten, am Tage aufgescheucht, so sieht man sie nach einem kurzen Umherschwirren plötzlich vor seinen Augen wie durch Hexerei verschwinden, und nur derjenige, der seine Augen dafür geschärft hat und ihren jeweiligen Platz sehr genau kennt, entdeckt sie alsdann wieder. Die gleichen Verhältnisse finden sich übrigens auch bei Nachtvögeln, wie Ziegenmelkern und andern, die tagsüber ebenfalls auf Baumästen ruhen, deren Rindenfarbe sie täuschend kopieren. In ihrem Schutzkleide fühlen sie sich auch an scheinbar exponierten Stellen vollkommen geborgen und suchen sich beim Herannahen eines Feindes absolut nicht zu flüchten.



Fig. 255. Ruhestellung des Eulchens Calocampa exoleta auf einem Baumstamme, in welcher es einem verdorrten abgebrochenen Zweige gleicht. Bei Berührung fällt es wie ein Stück Holz zu Boden und rührt sich nicht, als ob es ein lebloser Gegenstand wäre.

Manche wehrlose Tiere, wie die meisten Raupen, sind schon durch ihre grüne, dem Laubwerk, auf dem sie leben, völlig angepaßte Farbe äußerst schwer von den Pflanzen zu unterscheiden, wie auch der gelbe Zitronenfalter, der bekannte Frühjahrsbote, täuschend die gelbe Schlüsselblume nachahmt, die er auch mit Vorliebe aufsucht, da er sich auf ihr dank der genau übereinstimmenden Färbung am sichersten geborgen weiß. Die Spannerraupen, sogenannt, weil bei denselben die Bauchfüße außer dem letzten Paar völlig verkümmern und daher ihr Gang ein spannender ist — sie verfügen also nur über zehn, in seltenen Fällen über zwölf zum Gehen tauglicher Füße —, klammern sich in der Ruhe gern mit den nachschiebenden hintersten, besonders kräftigen Bauchfüßen an einen Zweig an, den schlanken, mit jenem sympathisch gefärbten Leib steif ausstreckend, als ob sie selbst nur ein Ästchen an ihm wären. Solchen Verbergungskünsten zu Liebe weisen viele Heuschrecken, Käfer und andere Insekten die unglaublichsten Verzerrungen und Verbildungen ihres Körpers auf, so daß sie dürren Zweigen, Flechten, Vogelkot, grünen und welken Blättern in allen Stadien des Verdorrens, der Zerstörung durch Schimmel und Rostpilze und der Durchlöcherung durch Raupenfraß zum Verwechseln



Die rötlich ledergelbe, im Mittelfeld olivenbraune **Mangoldeule**, Brotolomia meticulosa, auf einem Zweige mit verdorrten Eichenblättern sitzend.



Die graubraun gesprenkelte **Eule** Amphiphyra pyramidea, vollkommen gleich gefärbt wie die Rinde der Bäume, an welchen sie tagsüber ruht.

Beide Bilder nach unretouchierten Naturaufnahmen von A. Forrester sollen die natürliche Schutzfärbung bei am Tage an Pflanzenteilen ruhenden Nachtfaltern zeigen.

Digitized by Google

Digitized by Google

ähnlich sehen und in ihren Ruhestellungen auf ihren Nährblättern absolut nicht zu entdecken sind. Ein berühmtes Schulbeispiel hierfür ist der ostindische Tagfalter Kallima, der, wenn er ruhig mit zusammengeklappten Flügeln dasitzt, einem zu welken beginnenden Blatte täuschend ähnlich sieht, und merkwürdigerweise läßt er sich, wenn er verfolgt wird, stets mit Vorliebe auf solchen Bäumen und Sträuchern nieder, die viele welke Blätter aufweisen, und auf ihnen kann er auch mit den besten Augen nicht entdeckt werden.

Absonderliche Maskeraden treiben zahlreiche Insekten, die das Bestreben haben, sich möglichst gut im Laube zu verstecken, teils um nicht von Feinden gesehen zu werden, teils aber auch um die Beute besser beschleichen zu können. Dieses Bestreben hat bei zahlreichen tropischen Phasmiden oder Gespenstheuschrecken die unglaublichsten Veränderungen der Gestalt und Färbung hervorgerufen. Beim berühmten wandelnden Blatt, Phyllium siccifolium, haben Flügel, Hinterleib und selbst ein Teil der Beine blattartige breite Formen mit grüner Farbe und genauer Kopie der Blattnervatur, wie auch der Schattierung angenommen, die das Tier im Laube, in welchem es sich stets aufhält, um hier kleine Tiere zu jagen, ganz unkenntlich machen und vollkommen verschwinden lassen. Unter den Stabheuschrecken gibt es viele Arten, wie beispielsweise die ostafrikanische Heuschreckenart Ballicus mozambicus, die im erwachsenen Zustande jede Spur von Flügeln verloren haben und dann gänzlich grünen, gelben, grauen oder braunen Zweigen gleichen, um so mehr, da sie die langen, kleineren abgehenden Ästchen gleichenden Beine sehr langsam und unsymmetrisch bewegen. Mit diesem Sichunsichtbarmachen wollen sie nicht sowohl bloß ihren Feinden entgehen, als vielmehr hauptsächlich ungesehen sich ihrer tierischen Beute bemächtigen.



Fig. 256. Zwei Spannerraupen des Birkenspanners, Amphidasis betularia, in Ruhestellung, wie dürre Zweige abstehend.

Bereits die Larven zahlreicher dieser Arten besitzen solche Maskierungen, wie die von Th. Belt in Nicaragua beobachtete, vollkommen moosartig aussehende, an bemoosten Stellen jagende Larve einer

Digitized by Google

Phasmaart. Am weitesten gehen diese Nachahmungen von Pflanzenteilen in den für gewöhnlich zusammengelegten Vorderflügeln verschiedener Laubheuschrecken der Gattung Pterochroza, deren Oberflügel vollkommen täuschend teils grünen, am Rande verwelkten, teils herbstroten, mit Schimmelpilzen bedeckten und von Minierraupen angefressenen Blättern gleichen. Bei der ziemlich kleinen Pterochroza erosa haben sie aufs täuschendste das Aussehen eines vollkommen skelettierten und zerfressenen vorjährigen Blattes angenommen. Von einheimischen Schmetterlingen bietet ein Spinner, Gastropacha quercifolia, ebenfalls eine bedeutende Ähnlichkeit mit welken Blättern dar.



Fig. 257. Der unterste Zweig links stellt eine überwinternde Raupe der Boarmia roboraria dar, die von den übrigen durchaus nicht unterschieden werden kann, so täuschend ist sowohl die Schutzfärbung als auch die Schutzstellung dieses wehrlosen Tieres. (Unretouchierte Naturphotographie.)

Manche scheinbar auffallende Tierfärbungen und Zeichnungen sind ebenfalls wirksame Schutzfärbungen, indem sie darauf angelegt sind, ihre Träger im Zwielicht, in der Dämmerung und beim Mondschein unsichtbar zu machen. So schmilzt beim schwarz und weiß gestreiften Zebra und seinen die Grassteppen Afrikas bewohnenden Verwandten diese auffallende Streifenzeichnung schon in geringer Entfernung zu einem unbestimmten Grau zusammen, welches diese Tiere im Zwielicht viel schwerer erkennbar macht, als wenn sie einfärbig hell oder dunkel gefärbt wären, und sie so den Blicken ihrer Feinde,

Digitized by Google

Löwe und Hyäne, besser entzieht. Die meisten Raubtiere jagen ja meistens in der Dämmerung des Morgens und Abends, bei Mond- und Sternenlicht, und wehrlose Säugetiere und Vögel, sowie Taginsekten, die an offenen Stellen schlafen, wären dann sehr der Gefahr ausgesetzt, ergriffen und verzehrt zu werden, wenn sie nicht Schutzfärbungen besäßen, die sie für ihre Angreifer relativ unsichtbar machen würden. Die nächtlichen Räuber bedürfen ihrerseits auch wieder der Nacht- und Schattenfarben, um sich leichter an ihre Opfer heranschleichen zu können, ebenso wie die meisten Nachttiere, die erst nach Sonnenuntergang lebendig werden und ihrem Futter nachgehen.



Fig. 258. Zwei Exemplare des ostindischen Tagfalters Kallima, welche mit zusammengeklappten Flügeln zwischen Blättern sitzen (nach Wallace).



Fig 259. Die als „wandelndes Blatt" bezeichnete Heuschrecke Phyllium siccifolium.

Das Mondlicht, das sie bescheint, erzeugt sehr schwarze Schatten, in denen dunkelbraune, dunkelgraue oder schwarze Tiere nahezu oder völlig unsichtbar werden. Alle Tiere mit unregelmäßigen hellen Flecken oder Streifen auf dunkelm Grunde, wie gefleckte und gestreifte Hyäne, Hyänenhund, Dachs, Zibetkatze, gestreifte Manguste, der afrikanische Honigdachs, die Falbkatze, der Serval, Gepard und alle Schleichkatzen überhaupt, von Antilopen die Beisaantilope, wie auch das Schabrackentapir, der Vari und zahlreiche andere Lemuren, der Guerezaaffe, der männliche Strauß, die Buntspechte und zahlreiche andere sind gerade in diesem scheinbar auffallenden bunten Kleide in der Dämmerung

Digitized by Google

und im Zwielicht der Nacht, wo die Bäume und Sträucher tiefschwarze, mit hellen Lichtflecken durchbrochene Schatten werfen, vollkommen unkenntlich, indem ihr gescheckte Fell die Einheitlichkeit des Bildes des ruhenden Körpers vollkommen zerstört, ihren Körperumriß auflöst, ihre Gestalt in Streifen oder Flecken auflöst, so daß sie nicht mehr als zusammenhängendes Ganzes erscheinen. Desgleichen sind kleine Tiere, wie Feldmäuse, Ratten und Maulwürfe, deren graues oder schwarzes Kleid am Tage sehr stark vom grünen oder gelben Rasen absticht, des Nachts während ihrer Hauptjagdzeit sowohl für ihre Feinde, als auch für ihre Beutetiere fast gänzlich unsichtbar. Auch die Streifen des Tigers, des Zebras und zahlreicher anderer damit versehener Tiere, sind wie auch das gefleckte Fell des Panthers, des Jaguars, der Baumschlangen, der Giraffe usw. in der Dämmerung und



Fig. 261. Der aufs täuschendste ein vertrocknetes Blatt mit zernagten Rändern nachahmende brasilianische Schmetterling Siderone strigosus in Ruhestellung (nach Hermann Müller).

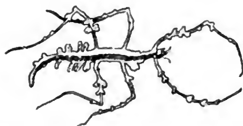


Fig. 260. Moosartig grüngefärbte Larve einer Heuschrecke aus Nicaragua.

Nachts besonders wirksame Schutzfärbungen, um die Gestalt ihrer Träger aufzulösen und an ihren natürlichen Aufenthaltsorten vollständig verschwinden zu lassen. Auch viele Fische, die durch das Seegras und die mancherlei Tange sich bewegen und in denselben ruhen, erfahren durch dunkle Quer- und Längsstreifung, wie auch durch Flecken, welche den Körperumriß gleichsam auflösen, einen erheblichen Zuwachs an Schwererkennbarkeit beim ungewissen, trüben Lichte, wie ein solches schon in geringer Wassertiefe vorherrscht.

Digitized by Google

Es gibt aber auch Tiere, die sehr dreist sind und von den bisher geschilderten Verbergungskünsten nichts wissen wollen, sich vielmehr immer offen zeigen, geflissentlich sorglos sich bewegen, ohne Deckung zu suchen, und keinerlei Lust verraten, irgend einem andern lebenden Wesen aus dem Wege zu gehen. Im Bewußtsein wegen gewisser ihnen zukommender Eigenschaften nicht nur nicht angegriffen, sondern vielmehr von allen andern Tieren ängstlich gemieden zu werden, indem sie entweder mit widrigem Geruche, wie das Stinktier und viele Stinkkäfer, oder mit unangenehmem Geschmacke, wie der Marienkäfer und zahllose, scharfe Stoffe, wie beispielsweise der Kantharidenkäfer, in sich bergende Insekten, oder gar mit Giften wie die Korallenschlange, die amerikanische Stachelechse, der Feuersalamander, oder mit Giftstachel wie die Biene und die Wespe und viele andere, auch zahlreiche Meerestiere, besonders bunte Fische behaftet sind, kleiden sie sich zu ihrem Schutze in Trutz-, Warn-, Ekel- oder Schreckfarben. Gerade durch ihre auffallende Kostümierung sind sie am besten davor bewahrt, etwa aus Versehen angegriffen und gefressen oder zertreten zu werden; denn wer einmal Bekanntschaft mit ihnen gemacht hat, wird sich das nächstemal wohl hüten, sich an ihnen zu vergreifen. So prahlen, außer den Genannten, alle grell gezeichneten Nacktschnecken, Raupen, Schmetterlinge, Käfer, Fische, Lurche und Reptilien, die sich dank eines garstigen ungenießbaren Fleisches oder giftiger Waffen unangreifbar fühlen, gerne mit ihrem auffallenden


Fig. 262. Den Nadeln der Kiefer oder Föhre, auf und von denen sie lebt, entsprechend längsgestreifte dunkelgrüne Raupe der Schmetterlingsgattung Panolis piniperda. (Unretouchierte Naturphotographie.)

Digitized by Google

Gewande, bleiben ruhig stehen, wenn man nach ihnen greift und gebahren sich geflissentlich so, als wollten sie sich recht viele Bekannte erwerben und von allen Mitlebenden genau gesehen werden.

Auch die auffallenden Leuchttiere des Wassers und der Luft stecken in ihren Lichtern Warnungssignale auf und rufen ihr „Achtung!" in die Welt hinaus, damit man ihnen fein säuberlich aus dem Wege gehe. So sind die amerikanischen Leuchtinsekten ebenso gut vor Verfolgern geschützt, wie diejenigen der alten Welt, und der bereits erwähnte englische Naturforscher Th. Belt berichtet von ihnen, daß sie von Affen und Eulen gleichmäßig gemieden werden und überhaupt von keinem Tiere gefressen werden, weil sie übel schmecken. Um nun nicht zu eigenem und fremdem Schaden gefressen zu werden, dient ihnen

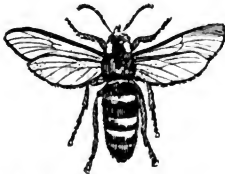


Fig. 263. Nachahmung einer Hornisse durch einen Schmetterling. Dieser sich ein gefürchtetes Äußere gebende, aber vollkommen harmlose Falter ist unser sogenannter Hornissenschwärmer, Trochilium apiforme. (Natürliche Größe).

das Licht, das eigentlich dazu da ist, die Geschlechter zusammenzuführen, nebenbei auch als Warnungszeichen.

Der gleiche Forscher erzählt auch von einem in Nicaragua dreist am hellen Tage herumhüpfenden lebhaft rot und blau gefärbten Frosche. Von vorne herein überzeugt, daß dieses Tier ungenießbar sein müsse, nahm er einmal ein solches mit und warf es dem Hofgeflügel vor. Aber kein Huhn und keine Ente wollte zubeißen, bis eine junge, noch unerfahrene Ente zuschnappte; aber augenblicklich besann sie sich eines besseren, warf das Tier weg und lief erschreckt fort. Ähnliche Versuche wurden mit auffallend ziegelrot gefärbten Wasserspinnen gemacht, welche stets als ungenießbar verschont blieben. Nur einmal vergriff sich ein unüberlegter junger Raubfisch an einer solchen, ließ aber seine Beute voll Abscheu sofort wieder fahren.

Beim augenscheinlichen Vorteil, den solche auffallenden Trutz- und Warnungsfarben bieten, ist es sehr begreiflich, daß auch harmlose, ungiftige Tiere solche Gemiedenen in Tracht und Benehmen nachzuahmen suchen. Sie, die jene schlimmen Eigenschaften nicht haben und also eines Schutzes doppelt bedürftig sind, geben sich bloß den Anschein, zu jenen allgemein Gefürchteten und Verabscheuten zu gehören. Man bezeichnet

Digitized by Google

diese Erscheinung der Nachäffung mit einem Worte des bekannten englischen Naturforschers Charles Darwin, der zuerst auf sie aufmerksam machte, als Mimikry. Unzählige Beispiele der interessantesten Art weist hiefür besonders die reichgegliederte Insektenwelt auf. Kerfe aller Ordnungen, Heuschrecken, Käfer, Fliegen, Wanzen und Schmetterlinge ahmen so die gefürchteten Wespen und Hornissen nach; andere gleichen in Kleid und Benehmen Bienen und Hummeln, brummen dann auch wie die letzteren, um die Täuschung für andere vollständig zu machen. In Südamerika wird von zahlreichen harmlosen Schmetterlingen keine Tracht so häufig nachgeahmt, wie die der dort in zahlreichen Familien vorkommenden Helikoniden, die im Flügelschnitt entfernt an Wasserjungfern erinnern und wegen der ihnen eigentümlichen übelriechenden Säfte von allen Insektenfressern gemieden werden. Natürlich schützt die im ganzen Lande verrufene Livree auch die nicht solche verabscheuten Säfte absondernden harmlosen Schmetterlinge, die sie zu ihrem Schutze nachahmen.

Ist auch solche Mimikry, also die Nachäffung Gemiedener, gerade in Amerika, wo man zuerst auf sie aufmerksam wurde, besonders weit verbreitet und raffiniert durchgeführt, so begegnen wir ihr allenthalben auf der Erde. Auch im tropischen Afrika und Asien werden alle möglichen immunen Stinkfalter als sehr gut geschützte Vorbilder von zahlreichen schutzbedürftigen Arten nachgeahmt, besonders wenn diese von Hause aus eine gewisse Ähnlichkeit mit jenen boten. Offenbar gewährt das Nachahmen solcher immuner Vorbilder einen weit bessern Schutz als die Imitation lebloser Gegenstände, wie wir sie vorhin besprachen. Deshalb ist es wohl begreiflich, daß fast alle immunen Vorbilder und sehr viele der kopierenden Nachahmer eine Schutzfärbung an die Umgebung als überflüssig aufgegeben haben. So sind bei ihnen die Oberseite und Unterseite in der Regel gleich gefärbt und selten findet man Stücke, die neben der Anpassung an ein immunes Vorbild noch Reste einer alten Schutzfärbung aufweisen.

Wie die Helikoniden in Südamerika sind die Danaiden in Afrika von allen Kerbtierfressern peinlich gemiedene Stinkfalter, deren Modell von andern nicht stinkenden Schmetterlingen mit Vorliebe nachgeahmt wird und in diesem Lande sehr populär ist. Und zwar tragen hier wie dort stets nur die Weibchen die verpönte Tracht, während die Männchen dies nicht tun, sondern bei ihrer angestammten Färbung verbleiben. Zu seinem sich mit geringen Veränderungen gleich bleibenden Männchen gehören nach Simroth nicht weniger als 14 verschiedene

Digitized by Google

Weibchen. In Abessinien ist der Falter noch in beiden Geschlechtern fast gleich gefärbt; er ähnelt unserem Schwalbenschwanz und weist eine zarte gelbe Grundfarbe mit schwarzer Zeichnung auf. Ganz anders verhält sich die Sache im übrigen Afrika. Da fliegen als Gegensatz zu Abessinien allenthalben Arten der durch die Absonderung unangenehm riechender Sekrete von allen Kerbtierfressern sorgfältig gemiedenen Gattung Danais. Nun ahmen die Weibchen einer Schwalbenschwanzart, Papilio merope, dieses Schutzkleid täuschend nach. Bei ihnen ist nämlich das Gelb der Flügel einerseits in ein dunkles Ockergelb oder Schwarz, andrerseits aber in das reinste Weiß übergegangen und auch die Flügelform hat sich der zu kopierenden Vorlage entsprechend vollkommen geändert, so daß man die so kostümierten Weibchen ohne genauere Kenntnis der Verhältnisse niemals als zu dem gelben Schwalbenschwanz gehörend anerkennen würde. Das Interessanteste aber ist, daß die Nachahmer selbst Varietäten des Modells aufs treueste kopieren. Schon in der Urform dieser Falter können wir kleine, wenn auch unbedeutende Anklänge in der Färbung an die verschiedenen Modelle finden. Diese geringen Übereinstimmungen steigern sich mehr und mehr, indem die abweichenden Varietäten vorzu ausgerottet werden, bis von den Merkmalen der Urform so viel wie nichts mehr übrig bleibt.

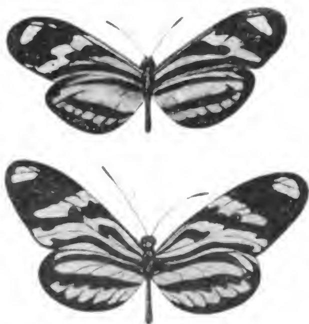
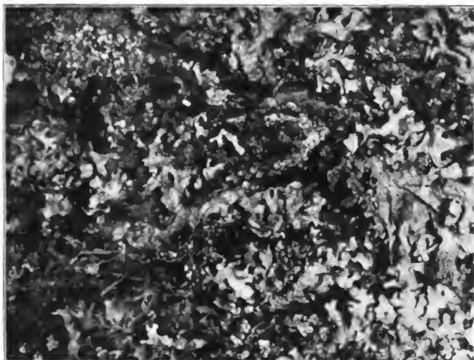


Fig. 264. Zwei immune, sich aber gleichwohl zu ihrem erhöhten Schutze gleichende Falter, die ganz verschiedenen Gruppen angehören.

Im tropischen Amerika, wie auch in den übrigen Kontinenten, sehen wir aber nicht nur schutzbedürftige Arten geschützte Vorbilder nachahmen, sondern wie sich schon durch Ekelstoffe geschützte Arten gleichen. Auf den ersten Blick scheint diese Art von Mimikry widersinnig. Wenn eine Art bereits mit Ekelstoffen, die sie schützen, versehen ist, wozu braucht sie sich dann noch aufs Nachahmen von andern Gemiedenen zu verlegen? Das muß nun seinen guten Grund haben. Den kerbtierfressenden Vögeln ist nämlich der Abscheu gegen solche als widerlich



Die auf graugrünen Flechten lebende und dieser ihrer Nährpflanze völlig gleich gefärbte Raupe der Boarmia lichenaria.



Die Rostbinde, Satyrus Semele, ein außerordentlich scheuer und gewandter Falter, der besonders gerne an Baumstämme fliegt, um sich von da blitzschnell zu erheben und das Spiel aufs neue zu beginnen, mit zusammengeklappten und ineinander geschobenen Flügeln auf einem Haufen verdorrter Lärchennadeln ruhend.

Beide nach unretouchierten Naturaufnahmen von A. Forrester reproduzierten Bilder sollen zeigen, wie außerordentlich gut wehrlose Tiere durch ihre Färbung in ihren natürlichen Wohngebieten geschützt sind.

Digitized by Google

zum Essen gezeichnete Falter nicht angeboren, sondern sie müssen sich ihn durch Erfahrung erwerben. So wird immer ein gewisser Prozentsatz von geschützten Arten solchen unerfahrenen jungen Vögeln zum Opfer fallen. Wenn nun die Individuen von zwei, drei oder gar, wie es vorkommt, fünf Arten einander ähnlich sehen, so ist es selbstverständlich daß, da sich im Laufe einer Schmetterlingsgeneration die von unerfahrenen Vögeln getöteten Falter auf die sich ähnelnden Gruppen verteilen, die Individuenzahl der einzelnen Art nur um ein Geringes vermindert wird.

Die Tatsache, weshalb nur die Weibchen gemiedene Trachten nachahmen, die Männchen aber sich durch Generationen hindurch gleich bleiben, erklärt Prof. Weismann auf folgende plausible Weise. Er sagt: 1. Die männlichen Individuen sind stets in größerer Zahl vorhanden als die weiblichen, also kommt es der Natur auf einige Stücke mehr oder weniger gar nicht an. 2. Ein Männchen reicht zur Befruchtung mehrerer Weibchen aus, daher ist ihre Dezimierung nicht von Bedeutung. 3. Die Weibchen sind infolge ihres schwerfälligen Fluges den Verfolgungen stärker ausgesetzt als die Männchen und müssen daher schon aus diesem Grunde besser geschützt werden. 4. Mit der Tötung eines Männchens geht nicht die Menge für die Erhaltung der Art wertvoller Eier verloren, die das Weibchen in seinem Leibe birgt. Es sind dies Gründe genug, aus denen ersichtlich ist, daß also vor allem die Weibchen geschützt werden müssen.

Den Einwurf, daß die ganze Mimikry nur auf Zufall beruhe, kann man mit Leichtigkeit zurückweisen. Wie ließe sich sonst die bereits von Darwin beschriebene Erscheinung erklären, daß Modelle und Nachahmer stets genau dasselbe Gebiet bewohnen, daß nie ein Nachahmer fern von der Form lebt, die er imitiert, ja, daß, wie beim angeführten Papilio merope Afrikas, sogar die Lokalvarietäten des Modells von den Nachahmern imitiert werden? Diese unbestreitbaren Tatsachen können einzig nur auf die angeführte Weise erklärt werden.

Natürlich ist die Mimikry nicht bloß auf Schmetterlinge beschränkt, sie kommt besonders häufig bereits bei deren Larvenzuständen vor. So wissen zahlreiche Raupen sich zu ihrem Schutze die merkwürdigsten Zeichnungen und Färbungen zu geben und die absonderlichsten Stellungen anzunehmen, bei eintretender Gefahr gewisse Teile plötzlich zu sträuben, sodaß nicht nur kerbtierfressende Vögel und Säugetiere, sondern selbst der kluge Mensch ängstlich vor ihnen zurückschrickt. So berichtet der englische Naturforscher Bates von einer großen Raupe in Brasilien,

Digitized by Google

welche ihr Vorderteil täuschend in den Kopf einer in derselben Gegend vorkommenden Giftschlange umgewandelt, selbst die starr blickenden Augen des gefürchteten Reptils durch zwei große Augenflecke kopiert hat und auch die dieser Schlange eigentümlichen Bewegungen mit unheimlicher Genauigkeit wiedergibt. Die nicht minder ansehnliche saftige Raupe eines großen nordamerikanischen Spinners trägt an ihrem Kopfe einen grellroten Haarbusch, den sie ganz so wie ein Kakadu seinen Schopf zu sträuben vermag. Damit schreckt sie aufs nachhaltigste Tiere und Menschen, von denen sie sich beunruhigt glaubt, sie gilt demnach auch bei den Eingeborenen, wenn auch natürlich vollkommen mit Unrecht, als ein gar giftiges und gefährliches Tier, vor dem man sich möglichst in acht zu nehmen hat.

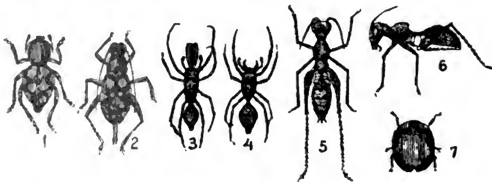


Fig. 265. Nachahmungen von Insekten durch solche aus andern Ordnungen. 1 Rüsselkäfer, Apocyrtus spec. 2 denselben nachahmende Heuschrecke, beide von den Philippinen. 3 und 4 Spinnen, welche Ameisen nachahmen, 5 und 6 Ansicht von oben und von der Seite einer Ameise nachahmenden flügellosen Laubheuschrecke, Myrmecophana fallax, aus dem Sudan. Bei ihr ist die enge Ameisentaille durch einen großen weißen Fleck auf jeder Seite nachgeahmt. Umgekehrt hat die eine Art Marienkäfer nachahmende Heuschrecke, Phorapsis, der Philippinen 7 ihren Leib stark verbreitert.

Aber auch bei höherstehenden Tieren ist die Nachahmung einer verrufenen Tracht eine gern geübte Maßregel zu eigenem Schutze. So fand vor einigen Jahren der englische Forscher Moore im Tanganjikasee in Zentralafrika einen kleinen Fisch, eine Chromisart, die auf dem Rücken ebenso gestreift ist und ähnlich schwimmt, wie ein dort lebender Blutegel, welchen die Raubfische und Vögel nicht fressen, weil sie fürchten müssen, daß der Egel sich in ihrem Schlunde festsauge. Oft werden Giftschlangen aufs genaueste von ungiftigen kopiert. So ahmt die vollkommen harmlose glatte Natter die gefürchtete giftige Viper oder Kreuzotter aufs täuschendste nach, wie auch der Kuckuck eine sperberartige Zeichnung seines Gefieders angenommen hat; glaubt

Digitized by Google

doch das Volk mancherorts von ihm, daß er in der Zeit, da er seinen Lockruf an die Weibchen nicht mehr hören läßt, sich in einen Sperber verwandle.

Wie bei Tieren ist aber auch bei Pflanzen die Nachahmung wehrhafter Arten seitens ungeschützter harmloser Formen eine nicht selten geübte Schutzmethode. So hat ja schon der Volksmund die große Ähnlichkeit gewisser Lippenblütler mit der ätzenden Brennessel durch die Bezeichnung „taube Nessel" charakterisiert. Dem giftigen Fliegenpilze gleicht der wohlschmeckende Kaiserling, den giftigen Milchlingen der köstliche Reizker. Gleicherweise haben auch manche durch Giftstoffe geschützte Pflanzen besonders an vor dem Gefressenwerden durch unerwünschte Pflanzenfresser zu schützenden Früchten Warnfarben ausgebildet. Man rechnet hierher die Scharlachfarbe der den Paprika liefernden Pfefferschote, Capsicum, der Beeren des giftigen Kellerhalses, Daphne mezereum, des Fliegenpilzes, mancher Gallen, die roten Flecken des Schierlingsstengels wie die des betäubenden Kälberkropfes, und von den Javanern erzählt man nach Kräpelin, daß sie ihre Äcker durch Hecken rotblütiger Pflanzen gegen Wildschweine zu schützen pflegen.

Eine solche Schutzmaskierung wird mit Vorliebe auch von Tierarten nachgeahmt, die andere hinterlistigerweise ausbeuten wollen, so besonders von Schmarotzern, um sich unerkannt ihren Opfern zu nähern oder sich in ihre Nester einzuschleichen. So ahmen Dickkopffliegen, die bei Wespen, und zahlreiche Spinnenarten, welche in den Nestern gewisser Ameisen schmarotzen, diese in Gestalt, Farbe und Benehmen genau nach. Dabei werden die dicksten Körper durch täuschende Farbenzeichnungen, besonders weiße Flecken, scheinbar in dünne Wespen- und Ameisentaillen verwandelt.

Die zu eigenem Schutze vorgenommene Nachahmung von gleichgültigen, leblosen Dingen, die zuerst Darwin als eines der wertvollsten Mittel zum erfolgreichen Bestehen des Kampfes ums Dasein erkannte, kann außer bei Tieren, wo sie allerdings sehr viel häufiger ist, gelegentlich auch bei Pflanzen vorkommen. So hat in neuester Zeit der englische Forscher R. Marloth in der südafrikanischen Karru eine Reihe von Mimikryfällen bei Pflanzen entdeckt, die besonders interessant sind. So erzeugt die dem ebenfalls aus Südafrika bei uns eingeführten Eiskraute verwandte Mesembryanthemum Bolusi nur zwei etwa faustgroße fleischige Blätter von bräunlichem Grau mit einem Stich ins Dunkelgrüne. Ihre Oberfläche ist uneben, höckerig wie ein ver-

Digitized by Google

witterter Stein. An ihren natürlichen Standorten, wo sie zwischen Steinen halb begraben wächst, vermag man sie kaum als Pflanze zu erkennen, da sie vollkommen Steinen gleicht. Nur im Herbste, nach der Sommerdürre — unserem Frühling entsprechend —, wenn die hellgelben Blüten von 6 cm Durchmesser erscheinen, ist die Pflanze sehr auffallend. Aber diese Periode dauert nur ganz kurz; rasch ist die Blütezeit vorbei, in der auch zahlreiche andere Pflanzen ihre Blüten treiben und deshalb dieses Mesembryanthemum am wenigsten gefährdet ist. Und wenn die Trockenheit wieder einsetzt, während welcher

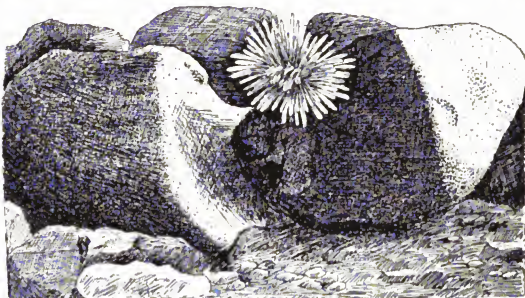


Fig. 266. Blühende Mesembryanthemum Bolusi aus der südafrikanischen Karru. Die Gebilde links und rechts von der Blüte sind nicht Steine, sondern die Blätter, die allerdings aufs täuschendste Steine nachahmen. (1/6 natürlicher Größe.) Nach Photogramm von Dr. A. Fuller.

die hungrigen und durstigen Tiere eifrig nach saftiger Kost ausspähen, gleicht die Pflanze wieder vollkommen den Steinen, zwischen denen sie dem Boden angeschmiegt lebt.

Eine ähnliche Färbung und Beschaffenheit der Oberfläche haben die Blätter von Mesembryanthemum nobile. Eine dritte Art mit kleinen Blättern, welche gleichfalls den Kieseln und Steinen in ihrer Umgebung gleicht, zeigt außerdem die Merkwürdigkeit, daß die Pflanzen bald mehr gelbliche, bald mehr braune Färbung zeigen und daß diese Variationen mit der gelblichen oder bräunlichen Farbe des Bodens übereinstimmen. Eine andere Mesembryanthemumspezies bildet fleischige Kissen auf dem Erdboden, die aus zahlreichen saftigen, mit einem Speichergewebe für Wasser versehenen Blättern von schneeweißer

Digitized by Google

Farbe bestehen. Diese Pflanze findet sich nur an Stellen, wo der Boden mit abgewitterten Bruchstücken von weißem Quarz bedeckt ist. Dasselbe ist der Fall bei Anacampseros papyracea, einer kleinen Fettpflanze, deren Blätter von großen, weißen, papierartigen Nebenblättern bedeckt sind.

Crassula columnaris, ein Fettkraut, sieht in der Kultur wirklich ihrem Namen entsprechend wie eine kleine Säule aus, im Naturzustand ist sie mehr rund und gleicht in Gestalt und Farbe derartig dem braunen Geröll, zwischen dem sie wächst, daß man sie wirklich kaum herauskennt, selbst wenn man darauf aufmerksam gemacht wird. Ganz

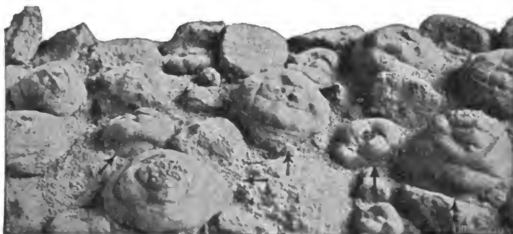


Fig. 267. Crassula columnaris aus der Karru. Die Pflanzen sind braun wie das umgebende Geröll. Auf diesem Bilde befinden sich zehn Pflanzen, von denen fünf durch Pfeile hervorgehoben sind. (1/3 natürliche Größe.) Nach Photogramm von Marloth.

ähnlich verhält es sich mit Crassula deltoidea, welche auf den Granitbergen von Klein-Namaqualand vorkommt und infolge ihrer weißen und grauen Farbe, sowie ihrer Form sich vom Boden absolut nicht abhebt.

Marloth betrachtet nicht alle diese Fälle als Beispiele von echter Mimikry, da sich verschiedene Gründe für die Farbe und Beschaffenheit der Pflanzen nachweisen lassen. So dienen die weißen Haare an den Blättern der früher erwähnten Mesembryanthemumart, ebenso wie die papierähnlichen Nebenblätter von Anacampseros in erster Linie andern Aufgaben als dem Schutze vor Feinden. Auch die Farbenvariationen der bald braun, bald gelb auftretenden Mesembryanthemumarten würden nach Marloth nicht als echte Mimikry zu betrachten sein, da diese Pflanzen grüne Blätter hervorbringen, wenn sie in einem feuchteren Klima, z. B. in der Kapstadt, kultiviert werden. Dagegen bewahren

Digitized by Google

Mesembryanthemum Bolusi und das ihr ähnliche M. nobile auch bei der Kultur ihre eigentümliche Oberflächenbeschaffenheit, wenn auch die Blätter dabei ein bißchen heller werden und daher etwas von dem ihnen anhaftenden Wüstencharakter verlieren. Hier könnte also, nach der Ansicht des Verfassers, echte Mimikry vorliegen. Daß die betreffenden Pflanzen an ihren natürlichen Standorten Herbivoren als Feinde haben, vor denen sie sich durch eine solche Schutzfärbung verbergen möchten, steht bei ihnen fest. Da Ziegen diese saftigen Pflanzen begierig fressen, so dürften Antilopen dasselbe tun. Auch Hasen, Strauße und Schildkröten fressen sie gern, ebenso die Hottentotten. Die Anacampseros scheint nach diesem Beobachter besonders von Hasen gefressen zu werden. Da diese Tiere zum Teil während der Nachtzeit ihre Nahrung aufsuchen, so ist es offenbar, daß Pflanzen, die so gut verborgen sind, mehr Aussicht haben, der Vernichtung zu entgehen als andere, die leichter gesehen werden können. Hierbei muß freilich berücksichtigt werden, daß bei diesen Pflanzenfressern für die Aufsuchung der Nahrung der Geruch ebenso sehr als das Gesicht in Betracht kommt.



Fig. 268. Crassula deltoidea aus dem Namaqualand. Die Pflanze ist weiß und grau wie der umgebende Granit. Auf dem ebenfalls von Marloth aufgenommenen Photogramm sind fünf Pflanzen abgebildet, von denen drei durch Pfeile markiert sind. (1/3 natürliche Größe.)

Neben der sympathischen Färbung, der wir fast regelmäßig bei Tieren, ausnahmsweise aber auch, wie die vorhin angeführten Beispiele beweisen, bei Pflanzen als wichtiges Schutzmittel begegnen, sehen wir bunte Färbungen gelegentlich auch als Ablenkungsmittel auftreten. Zahlreiche Falter tragen die Schutzfärbung nur auf den Vorderflügeln, mit denen sie bei der Ruhe die hinteren lebhaft gefärbten verdecken. Erst wenn sie fliegen tritt die grelle Färbung derselben zutage; aber diese bezweckt eben, die Angriffe der Feinde von den wichtigeren, düster gefärbten Körperteilen abzulenken. Ein Beispiel hiefür ist das bekannte rote Weidenordensband, Catocala nupta. Der stattliche Spinner ruht nun tagsüber mit aufgezogenen Flügeln an Baumstämmen, deren Färbung die seine täuschend nachahmt. Erst mit anbrechender Dunkelheit beginnt er aus freien Stücken die Bäume zu umflattern und zeigt dabei seine auffallend roten Hinterflügel. Als ein solcher in eine Volière

Digitized by Google

mit zahlreichen kerbtierfressenden Vögeln gebracht wurde, suchten ihn diese mit Eifer zu erhaschen. Aber erst nach fünfzig Fehlversuchen vermochten diese ihn zu ergreifen; denn sie hieben immer zuerst nach den grellfarbigen, leichter zu entbehrenden Hinterflügeln. So ist also auch diese Art von greller Färbung ein Schutzmittel, indem sie die Aufmerksamkeit von den wichtigeren Teilen auf die unwichtigeren lenkt, die schließlich auch einmal ohne Schaden für den Besitzer eingebüßt werden können.

Es scheint, als ob auch das bunte Kleid, das die meisten Vogelmännchen zur Zeit ihrer Fortpflanzung anlegen, eine solche ablenkende Bedeutung habe. Die Natur macht sie leichter sichtbar als die mit unscheinbarer Bodenfarbe gefärbten Weibchen, die während des Brütens den Blicken der Feinde entzogen werden sollen. Das ist nach unserer Ansicht die beste Erklärung, die wir für die sogenannten Geschlechtsfarben, die bunten Hochzeitskleider der zur Paarung schreitenden Tiere, zumal Vögel, zu geben vermögen. Darwin glaubte sie dadurch entstanden, daß bei der natürlichen Zuchtwahl die für bunte Farben und Schmuck aller Art empfänglichen Weibchen unter ihren Bewerbern stets die schönsten bevorzugt hätten; diese seien vor den andern, weniger hübsch gezierten zur Fortpflanzung gelangt und dadurch seien immer bunter gefärbte Spielarten entstanden. Wenn dem so wäre, so ist nicht zu begreifen, weshalb nicht auch die Weibchen an diesem Verschönerungsprozesse teilnahmen. Dafür gab man etwa die Erklärung, daß sich eben bei den Männchen eine intensivere Lebenstätigkeit, eine größere Kraftentfaltung in solchem Putze geltend mache. Dieser fehle den Weibchen, die durch die Abgabe von ausgiebigen Mengen von Nahrungsstoffen zur Bildung der Eier eine Ablenkung des frühjährlich sich geltend machenden Kräfteüberschusses erlitten, weshalb bei ihnen solche schönere Färbung unterblieb. Deshalb bleiben sie den Nistplätzen, an welchen sie brüten, ähnlich erdfarbig gesprenkelt, einfach braun oder olivengrün, während die Männchen sich in verschwenderischer Pracht zieren, die leuchtendsten Farbeneffekte erzielen, metallschimmernde Federbüsche, farbige Kämme, lange gleißende Schwänze und andere Prachtentfaltung mehr zur Schau tragen. Oft entstehen an einem solchen Hochzeitskleide merkwürdige Bildungen, die bald wieder abgelegt werden, wie der groteske bunte Schnabel des Larventauchers, der lange Schwanz des Witwenvogels, die leuchtend blaue Kehle des Blaukehlchens usw. Diese gehören zu den sekundären Geschlechtsmerkmalen, wie auch das Geweih des Hirsches, das dazu dient, die

Digitized by Google

Nebenbuhler abzuschlagen, und dergleichen vorübergehend gebildete Organe mehr.

Alle diese bunten Färbungen sind entweder chemische oder Absorptionsfarben, durch Pigmentkörperchen oder farbige Lösungen hervorgerufen, die unter den verhornten Zellen der Federn oder Haare liegen und unter jedem Gesichtswinkel gleich aussehen, oder Strukturfarben, d. h. Metallfarben. Sind erstere die Farben der Körper selbst, unabhängig von ihrer physikalischen Struktur, so sind letztere durch prismatische Lichtbrechung hervorgerufene Interferenzfarben, deren Qualität je nach dem Standorte des Beschauers wechselt. Sie sind also wie die Farben des Regenbogens durch Lichtbrechung in den Regentropfen entstanden; die Tropfen sind farblos, leuchten aber auf, wenn das Licht sich in ihnen bricht und in seine durch die Wellenlängen verschiedenen Farbenwerte zerlegt wird. Ebenso ist es mit den betreffenden metallischen Strukturfarben, die in zahlreichen Fällen nur subjektiv, vom Standpunkte des Beschauenden aus, vorhanden sind, oft aber auch in Verbindung mit Pigmenten auftreten, und dann im Gegensatz zu den subjektiven als objektive Strukturfarben bezeichnet werden. Zu den letzteren gehört beispielsweise das leuchtende Blau der Papageienfedern, dem ein Gelb zugrunde liegt, das auch auf der Rückseite der betreffenden Federn sich deutlich zu erkennen gibt.

Als Pigmente scheinen zuerst diejenigen entstanden zu sein, die der linken Seite des Spektrums mit längeren Wellen angehören, und zwar ist nach A. Jakobi Rot die allgemeinste Grundfarbe, der sich allmählich Gelb und in seltenen Fällen auch Grün anschließen. Blaue Pigmente sind äußerst selten; man trifft sie fast nur bei Planktontieren tropischer Meere. Da ihr Auftreten mit der geographischen Breite innerhalb der Wendekreise wächst, so können wir ihre Entstehung wohl auf die dauernde starke Einwirkung der Wärme und Belichtung zurückführen, der alle so gefärbten Tiere in hohem Grade ausgesetzt sind. Was sich sonst an einfachen Farben der rechten Seite des Spektrums findet, also an grünen, blauen und violetten sind Strukturfarben; und zwar scheint sich das Farbenkleid der Tiere mit ihrer höheren körperlichen und geistigen Entwicklung nach dieser Seite hin ausgebildet zu haben. Wir brauchen hiefür unter den Wirbellosen nur an die Insekten und unter den Wirbeltieren an die Vögel zu denken. Das Kleid der Säugetiere endlich weist kaum noch einen einfachen Farbenton, sondern lauter aus Schwarz, Braun und Grau gemischte Farbentöne mit Abschattierungen durch einfache Farben auf.

Digitized by Google

Daß nach den Tropen hin die bunten Tiere, wenn auch nicht an absoluter, so doch an relativer Zahl zunehmen, ist eine bekannte Tatsache, die wir heute noch nicht ganz einwandfrei zu erklären vermögen, wenn auch offenbar ihr zugrunde zu liegen scheint, daß hier die große Intensität der Sonnenstrahlung, welche auch die auffallend bunten Blütenfarben züchtete, eine der Hauptursachen ihrer Entstehung bildet. Sollen doch nach dem englischen Ornithologen Gould Vögel, die in einer klaren Atmosphäre leben, ein viel bunteres Gefieder aufweisen als dieselben Arten an regenreichen Küsten oder auf Inseln, wo das Sonnenlicht infolge der hier herrschenden größeren Feuchtigkeit sehr oft durch Bewölkung gedämpft wird.

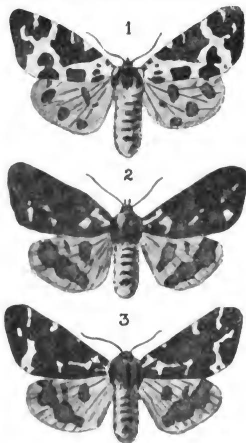


Fig. 269. Der braune Bär, Arctia caja: 1 normales Exemplar, 2 ein Exemplar, das als Puppe auf — 8° C. abgekühlt wurde, 3 Nachkomme von 2, der als Puppe nicht abgekühlt wurde, trotzdem aber weit dunkler als normale Exemplare ist.

Selbstverständlich wirkt eine Änderung der Beleuchtung auch umgestaltend auf die Farben der Tiere. Normalerweise, weil in stetem Dunkel lebend, pigmentlose weißliche Höhlentiere, wie der Olm aus dem Karstgebiete Istriens, werden, dem Lichte ausgesetzt, gefleckt oder bräunlich, indem sich in ihrer Haut als Schutz der Körperzellen vor dem ungewohnten Lichte ein die Lichtstrahlen absorbierendes Pigment entwickelt. Wenn nun etwa Stichlinge in ein Glas mit weißem Boden gestellt werden, blassen sie durch fortschreitende Abnahme der Pigmentzellen der Haut an Größe im Laufe weniger Tage stark ab, und wenn sie fünf bis sechs Wochen unter diesen Verhältnissen gehalten werden, stellt sich die dunkle Farbe nicht wieder ein, selbst wenn man sie in ein Glas mit dunklem Boden setzt. Ähnliche Erfahrungen hat man auch mit andern Fischen gemacht. Für nicht wenige Schmetterlingsarten hat man gefunden, daß die Farbe der Puppe in wesentlichem Grade durch die Farbe des Hintergrundes, auf welchem sich die Larve in den letzten Tagen vor der Verpuppung aufhielt, beeinflußt wird.

Digitized by Google

Hält sie sich auf einem hellen Untergrunde, z. B. auf einer hellen Mauer, auf, so wird die Puppe hell und umgekehrt.

Andrerseits hat aber auch die Temperatur einen großen Einfluß auf die Ausbildung der Farbstoffe in den Tieren. So hat man experimentell herausgefunden, daß auf einer niederen Temperatur gehaltene Schmetterlingspuppen dunklergezeichnete Schmetterlinge ergeben als auf einer höheren gehaltene; auch weisen sie in der Zeichnung manche Unterschiede auf. Wurden z. B. Puppen unseres gemeinen braunen Bären, Arctia caja, einer Kälte von —8° C. ausgesetzt, so unterschieden sich die daraus hervorgegangenen Schmetterlinge von den zu Kontrolle daneben gehaltenen, welche unter gewöhnlichen Lebensbedingungen normal gefärbte Individuen lieferten, dadurch, daß die großen braunen Flecken der Vorderflügel und die schwarzen Flecken der Hinterflügel sich stark verbreiterten und mehr oder weniger mit einander zusammenflossen. Diese Eigentümlichkeit entwickelte sich auch bei den Nachkommen eines Paares dieser Schmetterlinge in ähnlicher Weise, obgleich die Puppen der Nachkommen nicht der Kälte ausgesetzt waren. Der durch die Kälte hervorgerufene Charakter hat sich also in diesem Falle als erblich erwiesen.

Auf solche Temperatureinflüsse ist die vom englischen Zoologen Wallace als Saisondimorphismus bezeichnete Erscheinung zurückzuführen, bei welcher die aus überwinterten Puppen auskriechenden Schmetterlinge ganz anders gefärbt sind als die aus Sommerpuppen hervorgegangenen, so daß man sie lange für verschiedene Arten hielt. So ist das rote und schwarze Landkärtchen, Vanessa levana und Vanessa prorsa, wie schon die verschiedene Bezeichnung beweist, für zwei verschiedene Arten von Eckflüglern gehalten worden, bis Frey im Jahre 1827 erkannte, daß beide einander so unähnlichen Falter aus denselben, auf Brennesseln lebenden Raupen gezogen werden können. Die rötliche Frühlingsform ist das Produkt der Kälteeinwirkung auf die Puppen, die auch im Sommer durch Halten derselben im Eiskeller erzeugt werden kann, während dagegen die größere schwärzliche, statt mit einem blauen Saume eingefaßte, nur mit einer feinen roten Linie und einer großen weißen Binde gezeichnete Sommerform nicht durch Erhöhung der Temperatur im Winter erzielt werden kann. Der Freiburger Zoologe Weismann schließt aus dieser Erscheinung, die sich in ähnlicher Weise auch beim gemeinen Kohlweißling, Pieris napi, und andern Faltern nachweisen läßt, daß die so verschiedene, auch künstlich im Sommer züchtbare Wintergeneration ein Rückschlag auf

Digitized by Google

die aus der Eiszeit stammende Grundform sei, welche Vermutung durch den Umstand gestützt wird, daß in den Hochalpen und Polarländern, die das Klima der Eiszeit annähernd beibehielten, diese Schmetterlinge nur in einer einzigen Generation und Varietät auftreten, die als potenzierte Winterform gelten kann.

Ähnliche Beobachtungen hat in neuerer Zeit W. von Reichenau am gemeinen Nesselfalter oder kleinen Fuchs, Vanessa urticae, ge-



Fig. 270. Saisondimorphismus bei einer Pflanze: Vicia orobus, 1 im Juni (behaart), 2 im August (kahl).

macht. Dieser über ganz Europa verbreitete Schmetterling zeigte aus bis zu 45° C. Wärme gehaltenen Puppen gezüchtet eine tiefrote Farbe und eine Verkleinerung der schwarzen Flecken und entsprach damit vollkommen der im warmen Süden vorkommenden Art, die bis dahin für eine besondere Abart gehalten und als var. ichnusa bezeichnet wurde. Umgekehrt entsprachen die bei Kälte, wie auch die im kühlen Herbste aufkommenden Puppen desselben Falters völlig der durch stark erweiterte Flecken auf düsterbräunlichem Grunde, neben welchen nur sehr wenig Farbe übrig bleibt, gekennzeichneten Polarform. Stellt man zwischen diese beiden Extreme des Südens und Nordens die gewöhn-

Digitized by Google

liche Form Mitteleuropas, so erhält man eine vollständige Übergangsreihe und erkennt zugleich, wie allein durch Temperaturänderungen bei der Entwicklung neue Arten entstehen können.

Einen solchen Saisondimorphismus hat man ausnahmsweise auch bei Pflanzen beobachtet, so bei einer Wickenart, Vicia orobus, die in Deutschland nur im Spessart vorkommt, und zwar bei der Stadt Orb, wo sie vor 100 Jahren zuerst entdeckt wurde. Dieser Standort blieb lange der alleinbekannte, bis dann noch drei weitere Orte ihres Vorkommens in der Nähe des ersteren bekannt wurden, die sich als Ausstrahlungen von jenem ergaben. Einen neuen Standort, der zu demjenigen von Orb nicht unmittelbar in Beziehung steht, fand Professor Gregor Kraus vor einigen Jahren bei Partenstein, etwa vier Stunden von Orb entfernt. Der Vergleich der hier vorkommenden Pflanze mit der von Orb führte nun zur Feststellung der Tatsache, daß bei dieser Wickenart die Vorsommer- und Hochsommertriebe ein verschiedenes Aussehen haben. Die Orber Pflanze wächst der Hauptsache nach auf einer Wiese und blüht dort im Juni. Diese Normalpflanze ist zottig behaart und besitzt lanzettliche Blätter, wird aber noch in der Blüte beim Heumachen abgemäht. Die stehengebliebenen orberirdischen oder unterirdischen Stummel der Achse treiben dann mit den übrigen Wiesenpflanzen neue Stengel, die völlig haarlos sind, kleinere, mehr eiförmige Blätter besitzen und im August blühen. Neben ihnen erhalten sich in den Hecken von der Sense verschonte Exemplare, die im Juni blühen und zur Fruchtbildung gelangen. Ein besonderer Versuch am neuen Standorte zeigte, daß auch dort jeweilen nach dem Abschneiden der behaarten blühenden Exemplare gänzlich kahle Exemplare gebildet werden. Kraus bezeichnet diese Erscheinung als Heterotrichie, d. h. Verschiedenhaarigkeit und findet ihre Bedeutung darin, daß die im ersten Frühling rasch wachsende und über ihre Umgebung hervorragende Pflanze zum Schutze gegen zu starke Belichtung und Wasserverlust der Behaarung bedürfe, beim zweiten Austrieb aber langsamer wachse und über ihre Umgebung nicht hinausrage, so daß eine Haardecke überflüssig ist.

Solche vorhin erwähnte Erscheinungen von verschiedener Färbung auf den Flügeln von Schmetterlingen je nachdem die Puppe ihre Umwandlung in einer warmen oder kalten Umgebung durchmacht, lassen sich auch bei zahlreichen Wirbellosen beobachten. Bekannt ist, daß sich bei unsern Nacktschnecken bei Kälte mehr eine schwarze, bei Wärme dagegen mehr eine rote Färbung entwickelt. Allgemein entwickeln sich bei Lurchen, z. B. Salamanderlarven, im kalten Wasser dunkle, im warmen

Digitized by Google

dagegen viel heller gefärbte Individuen. Weil nun Schwarz mehr Wärme bindet als eine helle Farbe, ist die dunkle Färbung für diese Kaltblüter ein höchst zweckmäßiger Schutz gegen Kälte und umgekehrt. Da Temperaturschwankungen die Färbung all dieser Tiere sehr beeinflussen, ist es auch erklärlich, daß nach einem kalten Frühjahr dieselbe allgemein dunkler als nach einem warmen ausfallen.

Von nicht minder großem Einflusse als die Temperatur ist auch die Nahrung für die Färbung der Tiere. So wissen nach Wallace die Eingeborenen am Amazonenstrom prachtvoll rot und gelb gefleckte Abarten des dortigen grünen Papageis, Chrysotis festiva, zu erzeugen, indem sie ihn mit dem Fette gewisser Welse füttern; ein ähnliches Kunstprodukt des Menschen ist der Königslori, Lori rajah, des Malaien. Bei uns werden gleicherweise Gimpel und andere Stubenvögel durch die Fütterung mit Hanfsamen allmählich schwärzlich und Kanarienvögel durch Beimischung von spanischem Pfeffer zum Futter schön orangegelb gefärbt. Grüne Blattläuse, die auf Chrysanthemen gesetzt wurden, nahmen auf ihnen eine schwarze Färbung an. Die Schmetterlingszüchter behaupten, daß man vom bereits erwähnten gemeinen braunen Bären, Arctia caja, durch verschiedene Ernährung der Raupe Dutzende von Abarten erzielen könne, die nicht bloß in der Färbung, sondern auch in der Flügelzeichnung ganz ungleichartig ausfallen, so daß sie ein Uneingeweihter sofort verschiedenen Arten zuweisen würde. Dieselbe Wirkung wie bei Tieren erzielt man auch bei manchen Pflanzen. So hat Prof. Knop durch eine bestimmte Veränderung der Nährstofflösung bei einer größeren Zahl von Maispflanzen, die er in ihr erzog, eine so beträchtliche direkte Veränderung erzielt, daß man neue Arten vor sich zu haben glaubte. So wissen die Gärtner durch besondere Erdmischungen bestimmten Blumen neue und oft sehr intensive Färbungen zu geben; so erzielen sie beispielsweise durch Beimischung von Alaun und Eisen in die Erde statt der normalerweise rosa gefärbten blaue Hortensienblüten und dergleichen mehr.

Selbst der Schlaf kann von Einfluß auf die Färbung sein. So ist das Schlafkleid zahlreicher Fische zu ihrem Schutze sowohl in der Grundfarbe als auch in der Zeichnung meist dunkler als am Tage. Die Goldbrassen, Stenotomus chrysops, die am Tage eine glänzende irisierende Silberfarbe aufweisen, werden im nächtlichen Schlafe dunkel bronzefarben und bekommen sechs schwarze Querbänder. Um dies zu beobachten muß man sich nach Verill mit größter Behutsamkeit des Nachts den schlafenden Fischen nähern bei so schwacher Lampenbeleuch-

Digitized by Google

tung, daß sie eben hinreicht, Formen und Farben der Fische zu unterscheiden. Die geringste Lichtverstärkung genügt, die Fische zu wecken, die augenblicklich die Silberfärbung des Tagkleides annehmen. Da diese Tiere in der Natur zwischen Wasserpflanzen ruhen, so ist diese Nachtfärbung für sie offenbar ein Schutz. Ein Pfeilfisch ist am Tage braun und dunkelolivengrün marmoriert, Flossen und Schwanz sind etwas dunkler. Nachts hingegen beim Schlafen wird der Körper mißfarbig grau, während Flossen und Schwanz in ein düsteres Schwarz übergehen. Die Flundern und meisten Plattfische werden umgekehrt auf ihrer einzig gefärbten Oberseite schlafend dunkler als im Wachzustande am Tage.

Oft hängt die Farbe mit gewissen Eigenschaften der Tiere zusammen. So werden beispielsweise schwarze Schafe und Schweine von gewissen giftigen Pflanzen nicht angegriffen, welche weißen sehr verhängnisvoll werden. Infolge dieser Eigenschaft der größeren Widerstandskraft gegen unzweckmäßiges Futter züchtet man im nordamerikanischen Staate Virginia nur schwarze Schweine. Schwarze Varietäten von Tieren, bei denen ein Überfluß von Pigment ausgebildet ist, sind überhaupt im allgemeinen kräftiger und widerstandsfähiger als weniger pigmentierte, besonders albinotische weiße. Die hellfarbigen Abarten unserer Haustiere sind durch lange fortgesetzte Inzucht als Folgezustand einer Art von Entartung entstanden und vererben dieselbe besonders leicht auf ihre Nachkommen. Nur in des Menschen Pflege können sie sich erhalten; in der freien Natur jedoch müssen solche Variationen wegen ihrer auffallenden Färbung rasch von den Feinden gesehen und ausgerottet werden.

Was die Zeichnung der Tiere betrifft, so ist die Längsstreifung nach den vieljährigen Studien von Prof. Eimer in Tübingen ein uraltes Wirbeltiererbe, das sich in Reminiscenz an frühere Erdperioden sehr häufig bei den Jungen zeigt, auch in solchen Fällen, wo das erwachsene Tier ganz anders aussieht, wie z. B. bei der Mauereidechse, beim Emu, beim Steißfuß, beim Wildschwein, beim Paka, bei Tapiren, vielen Raubtieren, Hirschen und Antilopen. Beim Heranwachsen lösen sich diese Längsstreifen, die sich häufig auch bei Wirbellosen, wie besonders Nacktschnecken und Raupen, auftreten, allmählich in Flecken auf, die zuerst ihre Längsanordnung beibehalten und dann entweder ganz verschwinden, um einer gleichmäßigen Grundfarbe des Felles oder Gefieders Platz zu machen, wie bei den Huftieren, oder sich zu Querstreifen zu verbinden, wie bei der Mauereidechse und zahlreichen Vögeln

Digitized by Google

und Säugetieren. Hierbei gehen die Männchen gewöhnlich noch weiter als die Weibchen, die, wie überhaupt in allem konservativer, so auch in Färbung und Zeichnung mehr den Jungen gleichen. Diese Längsstreifung ist nun ebenfalls, wie die später von manchen Tieren, wie Königstiger und Zebra, erworbene Querstreifung, die so gezeichnete Tiere in einer gewissen Entfernung in eine körperlose Mischfarbe auflöst, eine Schutzzeichnung, indem sie die betreffenden Körper durch in

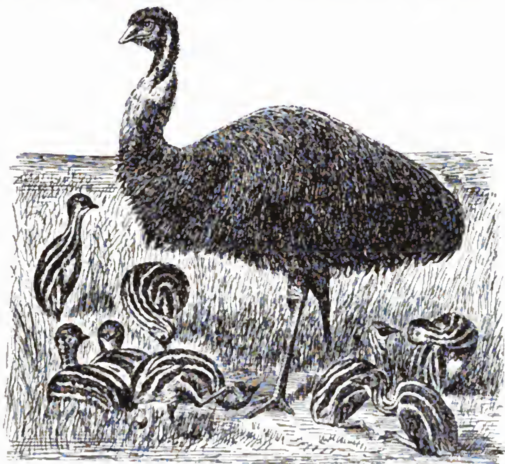


Fig. 271. Weiblicher Emu, Dromaeus novae-hollandiae, mit charakteristischerweise längsgestreiften Jungen.

die Fortbewegungsrichtung fallende Schattenstriche in kleine Stücke zerteilt, die in einiger Entfernung völlig verschwinden, so daß besonders die schutzbedürftigen jungen Tiere und Weibchen auf diese Weise vorzüglich vor ihren Feinden verborgen bleiben.

Eigentümlich ist, daß gewisse größere Strecken der Erdoberfläche gewisse Farben zu begünstigen scheinen. Daß die Wüstentiere fast stets sandgelb, die Polartiere weiß, die Planktontiere wasserhell sind, können wir leicht auf Anpassung zurückführen. Warum aber im Norden

Digitized by Google

der alten und neuen Welt graue, weiße, gelbe und schwarze Färbungen vorherrschen, im tropischen Amerika Grün und Rot, im indischen Gebiete Gelb und Rot, in Australien neben Schwarz auffallend viel Rot und bei zahlreichen Vögeln, besonders bei Papageien und Weberfinken, eine merkwürdig scharfe Farbenverteilung vorherrscht, das entzieht sich vorläufig völlig unserer Beurteilung.

Daß die das Äußere eines Tieres so sehr bestimmenden Farben im Kampf ums Dasein eine große Rolle spielen, liegt auf der Hand. Unter ihnen gibt es aber auch Erkennungsfarben, die dazu dienen, den Artgenossen das Erkennen untereinander zu erleichtern. Dahin gehören vor allem die bei den meisten Säugetieren vorkommenden weißen oder doch sehr hellen Flecken am Hinterteile, um die Aftergegend, die dem Jäger als „Spiegel" beim Hirsch, als „Blume" beim Kaninchen bekannt sind und bis hinauf zum Gorillajungen auftreten. Sie dienen den gesellig lebenden Tieren dazu, der übrigen Herde sofort anzuzeigen, wohin das Leittier oder der zuerst die Gefahr bemerkende und sich flüchtende Genosse gewandt hat. Bei den nicht gesellig lebenden Tieren dagegen, wie beispielsweise beim Gorilla, tritt dieser helle Fleck am Hintern nur bei den Jungen als Reminiscenz an frühere Zustände auf und dient der Mutter das sich von ihr entfernende Junge leichter auffindbar zu machen, bis es, der mütterlichen Aufsicht und Pflege entwachsen, dieses nunmehr überflüssig gewordene alte Erbe ablegt.



Fig. 272. Junger Steißfuß, Podiceps cristatus, mit der altertümlichen Längsstreifung.

Bei manchen Höhlenbrütern unter den Vögeln endlich gibt es noch eine besondere Schutzeinrichtung an den Schnäbeln der im dunkeln Neste sitzenden Jungen, damit die Eltern, vom Lichte der Außenwelt geblendet, leichter die Mundöffnung derselben zur Abgabe des Futters bei der Atzung finden. Man fand sie zuerst bei den Nestjungen der australischen Prachtfinken als blaue Hautwarzen, die sich in den Mundwinkeln an den den Schnabel einfassenden, hochgelb gefärbten Wulst anlehnen und sich durch ihren prächtig hellblauen Seidenglanz auszeichnen. Diese leuchten im Dunkeln zwar nicht durch eigenes Licht wie die Leuchtorgane der Tiefseetiere, sondern wie die bereits erwähnten Vorkeime des Leuchtmooses

Digitized by Google



Der bis zu 2 m Länge und 30 kg Gewicht erreichende **Hecht**, Esox lucius, der gefährlichste Raubfisch des Süßwassers, mit silbergrauen Querstreifen und Flecken am grünlichen Körper.



Der klares Wasser liebende, vom Süßwasser teilweise ins Brackwasser und in das schwach salzhaltige Meer wie die Ostsee gehende **Flußbarsch**, Perca fluviatilis, mit 5 bis 9, oft sehr verwischten dunklen Querbinden.

Beide unretouchierten Naturaufnahmen nach W. B. Johnson sollen die durch eine Querbänderung ausgezeichnete Schutzfärbung bei Fischen, die sich gerne zwischen Wasserpflanzen verbergen, zeigen. Diese Anpassung an den natürlichen Hintergrund ist sowohl für den Räuber, der sich vor seiner Beute verbergen möchte, als auch für die von ihm verfolgten harmlosen Fische nützlich.

Digitized by Google

durch Konzentration des sehr spärlich darauffallenden Lichtes. In völliger Finsternis hört bei ihnen das Leuchten natürlich auf. Durch diese Laternchen wird den fütternden Eltern der Ort angezeigt, wo sie die Speise hineinschieben müssen, was für sie, wie auch für die Jungen höchst zweckmäßig und bequem ist. Wenn letztere flügge werden und die dunkle Nesthöhle verlassen, wird dieses Leuchtorgan alsbald als vollkommen überflüssig zurückgebildet.

Als weitere Schutzmittel des Lebens haben wir als Wärmeschutz noch das Haar- und Federkleid der Säugetiere und Vögel, das die eben besprochenen Schutzfarben trägt, zu erwähnen. Wo dieses als schlechter Wärmeleiter fehlt, ist bei den im kalten Wasser lebenden Warmblütern wie Walen, Seehunden usw. eine dicke Fettschicht des Unterhautzellgewebes als oft sehr mächtig werdende und zugleich das spezifische Gewicht zum leichtern sich im Wasser schwimmend erhaltenkönnen erhöhende Einrichtung vorhanden. Um sich der Winterkälte zu entziehen gehen die Warmblüter, zudem daß sie einen Reservespeck ansammeln, von dem sie in der kargen Zeit des Futtermangels, zumal wenn sie in Winterschlaf verfallen, in ihre warmhaltenden, durch Pflanzenstoffe, Haare und andere schlechte Wärmeleiter austapezierten Wohnungen hinab. Ebenso verkriechen sich vor ihr alle Kaltblüter, wie beispielsweise der Regenwurm und die Engerlinge, oder begeben sich, wenn es sich um Wasserbewohner handelt, auf den eisfreien Grund der Gewässer, beziehungsweise in den schützenden Schlamm hinein. Eine der allerwichtigsten, das Leben dieser Wasserbewohner in der grimmigen, allem Leben feindlichen Winterkälte erhaltenden Einrichtungen ist die physikalische Tatsache, daß das Wasser bei + 4° C. spezifisch am schwersten ist. Infolgedessen sinkt beispielsweise im Süßwasser alles sich an der Oberfläche in Berührung mit der kalten Luft abgekühlte Wasser beständig zu Boden bis das ganze Wasserbecken diese Temperatur angenommen hat. Und erst wenn dies der Fall ist, kann sich oberflächlich durch noch weitergehende Abkühlung eine Eisschicht bilden, deren Mächtigkeit aber nie, weil die unteren Partien derselben mit ihrem Luftgehalte, der in Form von kleinen Bläschen das Eis trübt, als schlechte Wärmeleiter wirken, so groß werden kann, daß ein Weiher oder See völlig bis zum Grunde gefriert. Stets ist dadurch die unterste Schicht der Wassermassen vor dem gänzlichen Gefrieren geschützt.

Ebenso wie vor dem Erfrieren besitzen alle Lebewesen einen weitgehenden Schutz vor dem Austrocknen durch die mannigfaltigsten, teilweise schon früher besprochenen Einrichtungen. Nur die Samen

Digitized by Google

der Pflanzen und die Dauerzustände der niederen Tiere sind auf ein Minimum von Feuchtigkeit eingerichtet, das sie äußerst zähe festhalten, und können so sehr lange Zeit hindurch im Zustande der Anabiose ein latentes Leben fristen, bis durch Wasserzufuhr die Lebensbedingungen für sie günstigere werden und ihnen ein neues Aufleben gestatten. Sobald sich ausgetrocknete Tümpel mit Wasser füllen, so zeigt sich sehr bald das darin verschwunden gewesene Pflanzen- und Tierleben, und zwar wieder ungefähr in derselben Art wie vorher. Das beruht darauf, daß sie eingekapselt, nur ausnahmsweise in den zählebigsten Formen bloß eingetrocknet, in einen Ruhezustand übergehen, um bei Durchfeuchtung zu neuem Leben zu erwachen. Alle Einzeller, wie sämtliche Protozoen, Algen und Bakterien, kapseln sich durch Ausscheidung einer festen Membran ein, die vielzelligen Metazoen dagegen nur ganz ausnahmsweise, nämlich bei Oligochäten, zu welchen die Regenwürmer und Naiden gehören, und dem bereits besprochenen Lungenfisch Zentralafrikas, Protopterus annectens, die sich mit einer aus erhärtetem Schleim gebildeten Kapsel umgeben. Meist begnügen sich die höheren Tiere, ihre Eier, wie auch die höheren Pflanzen ihre Samen, mit einer festen, den Inhalt vor gänzlicher Vertrocknung schützenden Kapsel zu umgeben. So bildet beispielsweise der Regenwurm vermutlich vom zähen Schleime, der von den Drüsen des als Clitellum oder Gürtel bezeichneten, etwas vor der Körpermitte befindlichen, mehrere Segmente umfassenden Hautpartie, deren zähes Sekret auch die Individuen bei der Begattung zusammenhält, ausgeschieden wird, die Kokons, in denen die abgelegten Eier — und zwar eine Mehrzahl derselben in jedem Kokon — eingeschlossen werden, um möglichst gut vor Austrocknung geschützt zu sein.

Eine weitgehende Austrocknung schon ausgebildeter Pflanzen und Tiere geschieht nur sehr ausnahmsweise. So können, wie wir früher sahen, Moose und Flechten, winzige Krebschen, Copepoden, besonders der Gattung Cyclops, Rotatorien oder Strudelwürmer, Tardigraden oder Bärentierchen und Würmer, wie das Weizenälchen, sehr lange als vollkommen ausgebildete Wesen — nicht nur in geschützter Eiform, die daneben auch noch gebildet wird — in stark eingetrocknetem, eingeschrumpftem Zustande Wochen und Monate scheinbar tot verweilen, bis sie, mit niederfallendem Regen befeuchtet, dasselbe begierig in ihre Gewebe aufsaugen und zu neuem Leben erwachen.

Je nach der Intensität des Stoffwechsels kann bei den Tieren auch die Nahrungsaufnahme in kleineren oder größeren Intervallen erfolgen. Während Warmblüter mit sehr regem Stoffwechsel nur ver-

Digitized by Google

hältnismäßig kurze Zeit ohne Nahrung leben können, besitzen stumpfe Kaltblüter, namentlich bei infolge von Kälte sehr herabgesetzter Stoffwechselenergie die Fähigkeit, recht lange Zeit ohne Schaden zu hungern. Das ist für diese Tiere auch eine Art Schutzeinrichtung, die ihnen mit Leichtigkeit über schlechte Zeiten hinweghilft. Frösche, Schlangen, Schildkröten und viele andere Kaltblüter können viele Monate, ja selbst ein paar Jahre ohne Nahrung leben. So wurde in einem Tiergarten eine Riesenschlange der Gattung Python ungefähr $2^1/_2$ Jahre gehalten,



Fig. 273. Verwetterte und teilweise abgestorbene, in der vorherrschenden Windrichtung gebeugte Kiefern an der Baumgrenze auf dem Pic von Orizaba in Mexiko. (Nach Photogramm von Dr. H. Roß.)

ohne daß sie irgendwelche Nahrung aufnahm; dabei ging ihr Gewicht von 75 bis auf 27 kg zurück. Manchmal können die Tiere sehr lange ohne Nahrungszufuhr aushalten, wenn sie nur mit genügend Wasser versehen sind; wird ihnen dagegen keine Gelegenheit geboten, das zu ihrem Lebensunterhalt nötige Wasser aufzunehmen, so sterben sie an Austrocknung ihrer Gewebssäfte bald dahin. So erkennen wir, daß das Wasser das allernotwendigste Existenzmittel für alle Lebewesen überhaupt ist.

Digitized by Google

Manche Tiere hungern regelmäßig einen größeren oder kleineren Teil ihres Lebens; namentlich sind die Ruheperioden, welche so viele während der, sei es infolge Kälte oder großer Dürre, eintretenden Zeit mit herabgesetztem Stoffwechsel durchmachen, zugleich Hungerperioden. Für einige Fische, so besonders für die nur im Süßwasser laichenden Lachse, ist nachgewiesen, daß sie vor und während der Fortpflanzungszeit monatelang keinerlei Nahrung zu sich nehmen und doch die größten körperlichen Anstrengungen durchmachen, indem sie die längsten Flüsse von ihrer Mündung ins Meer bis zu den Quellgebieten schwimmend durchmessen, wobei sie in 24 Stunden etwa 40 km flußaufwärts zurücklegen. Bei einem durch Plombe gezeichneten Lachs wurde jüngst ermittelt, daß er in 82 Stunden 136 km in der Weser aufwärts geschwommen war, was gewiß eine ganz respektable Leistung ist. Während ihres Aufenthaltes im Süßwasser ist ihr Magen ganz zusammengezogen und verdaut überhaupt nicht. Ähnliche Verhältnisse kennt man auch von andern Tieren. Diese leben dann in der Zeit des Fastens von den reichen, vorher angesammelten Mengen an Reservenahrung bestehend in Muskeleiweiß und Fett. Manche Insekten können sogar im ausgewachsenen Zustande, der bei ihnen nur der Fortpflanzung dient, wegen des rudimentären Zustandes der Mundteile keine Nahrung mehr zu sich nehmen, leben überhaupt als Imagines, wie beispielsweise die Eintagsfliegen, nur wenige Nachtstunden. Mit der Fortpflanzung ist ihre Lebenskraft erschöpft und sie gehen alsbald nach deren Vollzug zugrunde.

Während der Hungerperioden verliert natürlich der Körper oft bedeutend an Gewicht, indem die Oxydation der Gewebe stetig weiter geht. Doch werden von solchen Tieren, die einer Hungerzeit entgegengehen, wie von den Pflanzen, oft verhältnismäßig bedeutende Mengen von Reservenahrungsstoffen, besonders in Form von Fett abgelagert, so beim Bär, beim Murmeltier, beim Siebenschläfer, beim Dachs, den Fledermäusen und allen Insektenlarven vor der Verpuppung. Nun kann bei einem fettreichen Körper das Fett während des Hungerns in einem höhern Grad als bei einem mageren den Bedarf des Körpers decken; bei letzterem muß also das Eiweiß in relativ größerer Menge eingeschmolzen werden. Je reicher das Futter an Eiweiß war, um so mehr wird verbrannt und um so größer ist auch infolgedessen die Stickstoffabgabe während der ersten Hungertage. Doch ist sie beispielsweise beim Menschen nach fünf Tagen gleich groß, wie auch das frühere Futter zusammengesetzt war. Schon am dritten Tage hat der Gesamt-

Digitized by Google

stoffwechsel sein Minimum erreicht. Dabei wird zuerst der vorzugsweise in der Leber, dann aber auch in den Muskeln aufgestapelte Vorrat an Glycogen oder tierischer Stärke verbraucht, dann das Fett und zuletzt erst das Eiweiß; doch ist auch beim verhungerten Tiere immer noch etwas Fett vorhanden. Beim Hunger geben billigerweise alle Organe des Körpers ihre Beiträge zum Unterhalte des Gesamtkörpers ab. Die für die Unterhaltung des Körpers vor allem wichtigen Organe verwenden nun diese Beiträge zu ihren Leistungen. Ihr Ernährungszustand leidet dadurch weniger und sie nehmen daher viel weniger als die andern, die leichter entbehrt werden können, an Gewicht ab. Es wird sogar, wie bei hungernden Tauben beobachtet wurde, Kalk von den ruhenden Knochen, wie Brustbein und Schädel, entnommen und an die tätigen abgegeben. Bevor noch alles Eiweiß und Fett aufgezehrt worden ist, stirbt der Körper. Die Todesursache muß daher in der verminderten Leistungsfähigkeit des verhungerten Organismus liegen.

Während die winterschlafenden Säugetiere sich durch Reduktion ihrer Lebensvorgänge auf ein Minimum, wobei sie das Bewußtsein vollständig verlieren und in Bezug auf den Wärmehaushalt des Körpers auf die Stufe des Kaltblüters herabsinken, über die für sie schlimme Jahreszeit hinweghelfen, haben die mit außerordentlich regsamem Stoffwechsel begabten Vögel, denen diese Reduktion der Lebensvorgänge äußerst schwer gefallen wäre, sich anderweitig zu helfen gewußt. Vermöge ihrer viel größeren Beweglichkeit und ihrer Fähigkeit, im Fluge rasch weite Strecken zurückzulegen, entfliehen sie den Zeiten des Nahrungsmangels in Gegenden, in denen zu jener Zeit jene ungünstigen Verhältnisse nicht herrschen. So sind mit der Zeit aus Körner-, besonders aber aus Insekten- und Weichtierfressern, die zur warmen Tertiärzeit noch bei uns Standvögel waren, mit dem langsamen Kälterwerden des Klimas Strichvögel und nach der Eiszeit Zugvögel geworden. Diese Zugvögel sind dadurch ausgezeichnet, daß sie alljährlich in einem kälteren Klima brüten und in einem mehr oder weniger entfernten wärmern Lande den Winter zubringen. Nun ist für jedes Tier derjenige Ort seine Heimat, in welchem es sich fortpflanzt. Wie der Lachs sich als ursprünglicher Süßwasserfisch dokumentiert, indem er bloß im Süßwasser laicht, wenn er jetzt auch nur im Meere frißt und sich heimisch fühlt, so beweisen alle in einem kälteren Klima bei uns in Mitteleuropa und weiter nördlich brütenden Vögel, daß auch die Wiege ihres Geschlechtes in diesen Breiten lag. Aber beide, Lachs wie Zug-

Digitized by Google

vögel, hat die vergangene Eiszeit zu Wandertieren gemacht, indem sie ihnen die bis dahin gewohnten Lebensbedingungen gründlich änderte und sie, wollten sie nicht zugrunde gehen, zwang, periodisch auszuwandern. Doch sind sie trotz aller Ungunst des Klimawechsels wenigstens zur Fortpflanzung ihrer alten Heimat treu geblieben.

In dem Maße als sich die Eiszeit ausbildete, zogen die ihre Nahrung vorzugsweise am Boden suchenden Vögel, denen fallender Schnee den Tisch zeitweilig ganz verdeckte, über damals noch bestehende Landbrücken von Korsika, Sardinien und Süditalien, Sizilien, Malta Tunis über die Zeit der für sie fehlenden Nahrung nach Nord- und Zentralafrika. Und als das verbindende Land versunken war, flogen sie noch aus alter Gewohnheit über diese nunmehr wasserbedeckten Strecken, die sie gewiß nicht ausgesucht hätten, wenn hier stets das für sie so feindliche Meer vorhanden gewesen wäre. Auch über Land schlagen die Zugvögel stets bestimmte Wege ein, die man Zugstraßen nennt, deren eigentümliche Richtungen offenbar in dem Bedürfnisse begründet sind, daß die Vögel während der ganzen Wanderung so weit wie möglich nur Gegenden berühren, die ihren natürlichen Aufenthaltsorten einigermaßen entsprechen. Küstenvögel bewegen sich hauptsächlich in Linien, die den Meeresküsten oder nötigenfalls den Flüssen entlanglaufen, Sumpfvögel ziehen mit Vorliebe durch Sumpfgegenden oder längs Flüssen usw. Besonders in der Zugrichtung, also von Norden nach Süden fließende Ströme oder so verlaufende Täler wurden zu Heerstraßen und dementsprechend streichende Gebirgstäler zu Pässen für die Wanderer. In ihnen sammeln sie sich nach und nach an. Einige ziehen paarweise, andere in Gesellschaft, die meisten aber in großen Scharen, zuweilen mehrere Arten miteinander, die schwachen hauptsächlich des Nachts, die starken auch bei Tage. Meist ziehen sie in bedeutender Höhe dahin und reisen eilig, als ob ein unüberwindlicher Drang sie treibe. Sie werden um die Zeit der Reise unruhig, auch wenn sie sich im Käfig befinden, und zwar selbst dann, wenn sie als Junge dem Nest entnommen und in der Gefangenschaft aufgezogen wurden. Indem ältere und jüngere Vögel zusammen wandern, wird die Kenntnis des Weges immerfort den neuen Generationen überliefert und bewahrt; denn „instinktiv" können die Vögel den Weg nicht finden; sie müssen von den älteren Artgenossen oder von erfahrenen Individuen einer andern Art, denen sie sich zur Reise hinzugesellen, über die einzuschlagende Richtung belehrt werden.

Die Abreise aus den kälteren Gegenden findet zu verschiedener,

Digitized by Google

für jede Art aber ziemlich bestimmter, wenig wechselnder Zeit statt, meist im Herbst, für einige Arten aber auch schon im August oder gar Ende Juli, wo sich in ihrer Heimat noch keinerlei Anzeichen eines später eintretenden Nahrungsmangels für sie fühlbar macht. Diejenigen, welche am spätesten wegziehen, kehren am ersten zurück, während diejenigen, welche uns am frühesten verlassen, am spätesten wiederkommen. So reist beispielsweise der Mauersegler schon in den letzten Tagen des Juli ab und stellt sich erst im Mai wieder ein. Die letzten Nachzügler wandern erst im November aus und langen bereits im Februar des folgenden Jahres wieder an. Ihre Winterherbergen sind oft sehr ausgedehnt; von manchen kennt man die Stätte nicht, in welcher sie endlich Ruhe finden. Mehrere überwintern schon in Südeuropa, viele in Nordafrika zwischen dem 37. und 24. Grade nördlicher Breite. Nicht wenige aber gehen bis tief in das Innere des heißen Gürtels und finden sich während der Wintermonate von der Küste des Roten Meeres oder Indischen Ozeans bis zu derjenigen des Atlantischen. Eine ähnliche Herberge bildet Südasien für nordasiatische Einwanderer. Die nordamerikanischen Vögel reisen bis in den Süden der Vereinigten Staaten und bis nach Mittelamerika. Auch auf der südlichen Halbkugel findet während der kälteren Jahreszeit ein regelmäßiger Wanderzug nach wärmeren Gegenden statt. Die Vögel Südamerikas fliegen in nördlicher Richtung bis nach Süd- und Mittelbrasilien, die Südaustraliens wandern nach Nordaustralien, teilweise auch bis Neuguinea und auf die benachbarten Inseln.

Vor dem Weggang pflegen sich die Abreisenden zu versammeln und einige Tage an einer und derselben Stelle zu verweilen, wobei sie die einzeln vorüberziehenden Artgenossen herbeilocken. Endlich wenn der Schwarm zu einer gewissen Stärke angewachsen ist, brechen die Versammelten plötzlich auf und fliegen gemeinsam davon. Einzelne halten vorher eine förmliche Musterung über die Mitglieder der Reisegesellschaft ab. Diese bleibt nun unterwegs, meist sogar auch in der Winterherberge, mehr oder weniger vereinigt. Reisend beobachten die Zugvögel in der Regel eine bestimmte Ordnung, gewöhnlich diejenige eines Keiles, genauer gesagt die zweier gerader Linien, welche in schiefer Richtung gegen einander laufen und vorn an der Spitze sich vereinigen, einem V vergleichbar. Andere fliegen in Reihen, noch andere in einem gewissen Abstande durcheinander, in wirren, nach außen hin jedoch einigermaßen abgerundeten Haufen. Schwächere Vögel benützen unterwegs am Tage Wälder und Gebüsche zu ihrer Deckung und fliegen

Digitized by Google

soviel wie möglich von Baum zu Baum und von Wald zu Wald. Laufvögel, denen das Fliegen schwer wird, legen einen guten Teil des Weges zu Fuß, manche Wasservögel geringere Strecken sogar schwimmend zurück. Gegenwind fördert und beschleunigt, Rückenwind aber stört und verlangsamt wegen der statischen Verhältnisse beim Fliegen den

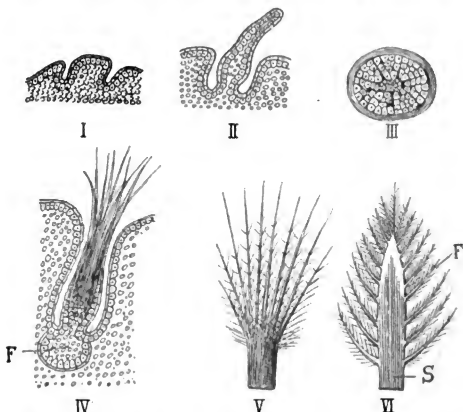


Fig. 274. Sechs Stadien der Federentwicklung. I Einfache Papille des Ektoderms, welche sich in II einerseits tiefer eingesenkt, andrerseits aber verlängert hat, III Papille im Durchschnitt, IV durch Zerfaserung der sich verlängernden Papille ist die Embryonaldune Pluma entstanden, welche auf dem Federfollikel F mit der ernährenden Pulpa aufruht. V Federspule, welche nach oben in ein Büschel von Strahlen auseinanderfährt. VI Indem sich an den Einzelstrahlen der Embryonaldune wiederum kleinere, sekundäre Strahlen entwickeln, bildet sich zuletzt die definitive Feder mit dem Schafte S und der Fahne F. Indem sich die Einzelteilchen des Federbartes durch Häkchen sehr innig zusammenschließen, kommt dann bei der Contourfeder Penna das dem Fluge dienende luftdichte Gefüge zustande.

Zug, hält ihn wohl auch tagelang auf. Die lebhafte Unruhe, welche alle Vogelgemüter erfüllt, endet erst am Ziel der Reise; jedoch tritt auch dort das gewohnte Leben nicht ein. Die Vögel fühlen sich als Fremdlinge, denen es erst dann ganz wohl wird, wenn sie wieder zu Hause sind, wo ihre Wiege stand und wo sie neu erwachende Liebe im Herzen fühlend zur Brut schreiten, um ihre Art fortzupflanzen. Hier

Digitized by Google



Im Heidegestrüpp brütendes schottisches Moorhuhn, Lagopus scoticus, als Beispiel der Schutzfärbung der Erdbrüter. Vom gemeinen nordischen Moorhuhn unterscheidet es sich durch braune Schwingen, graue Beine und vor allem dadurch, daß es im Winter nicht wie jenes weiß wird. Es ist ein hochintelligenter, sehr regsamer Vogel, der mit seinen breiten, dicht befiederten Füßen ebenso rasch über das trügerische Moor wie über den frischen Schnee wegläuft. Auf den Hochebenen Skandinaviens und in der Tundra ist es stellenweise unglaublich häufig. Hier wohnt ein Paar dicht neben dem andern und das Gebiet eines einzelnen Paares ist so wenig ausgedehnt, daß es nach Brehm selten an 500 Schritt Durchmesser hat. Während der Frühlingszeit verteidigt der Hahn die Grenzen seines kleinen Reichs eifersüchtig gegen jeden Eindringling.

(Unretouchierte Naturaufnahme von Cherry u. Kearton.)

Digitized by Google

erst lassen die Männchen ihre schmelzenden Lieder erschallen, nicht um die Herzen ihrer Weibchen zu gewinnen, wie die Dichter so gerne die Vögel vermenschlichend singen, sondern um sich ihre Brutreviere zu wahren. Der Gesang ward ihnen in erster Linie dazu verliehen, um durch ihn die Grenzen der Brutreviere festzustellen. Alle diese guten Sänger, wie z. B. die Singdrosseln, die einzeln nisten und sich von der Niststätte nicht weit entfernen, bedürfen eines gewissen Gebietes, um sich und die heranwachsende Brut ernähren zu können. Dringt nun ein Nebenbuhler in dieses ein, so verrät ihn sein lauter Gesang sofort den Inhabern des Reviers, von denen sich das Männchen alsbald wütend auf ihn stürzt und ihn vertreibt. Anders ist es bei den nachbarlich brütenden Wachholderdrosseln. In den einsamen, ungepflegten



Fig. 275. Längsschnitt durch ein Stückchen von der Fahne einer Schwungfeder. Die von den 6 Fahnenstrahlen ausgehenden Ästchen haken sich gegenseitig ein, was der Fahne ihre Geschlossenheit verleiht. (Nach Pauly.)

Wäldern, die sie im Norden bewohnen, ist die Nahrung so leicht zu erlangen, daß es eigener Reviere für die Paare nicht bedarf. Hier, wo es sozusagen keinen Kampf ums Dasein für diese Vögel gibt, verträgt man sich ohne weiteres; hier ist deshalb auch ein lauter Gesang entbehrlich. So wie diese haben alle Siedelvögel, d. h. solche, bei denen viele in nächster Nachbarschaft von einander nisten, wie z. B. Stare und Schwalben, nie eine laute Stimme oder gar einen hervorragenden Gesang erworben, selbst wenn sie von Hause aus über schöne Stimmittel verfügen. Von den mit Stimmitteln Begabten aber gilt im allgemeinen der Satz, daß je weiter südlich die Landschaft gelegen ist, um so schöner die Mundart einer Vogelspezies wird. Der Gesang hängt eben auf das Innigste mit der Körperbeschaffenheit, also mit der Nahrung zusammen, und diese findet sich unter sonst gleichen Verhältnissen dort reichlicher, wo die Sonne wärmer scheint, wo das Pflanzen- und Tierleben reicher pulsiert.

Daß auch bei den Wanderungen der Vögel das Nahrungsbedürfnis das ausschlaggebende Moment ist, beweist der Umstand, daß vielfach Vögel, die für gewöhnlich nicht ziehen, in strengen Wintern bei Mangel an Nahrung nach Süden reisen, während andrerseits in milden Wintern einige Vögel in dem Lande, in welchem sie brüten und ihre Heimat haben, zurückbleiben. Besonders geschieht dies von jenen, die ihr Futter im Gezweige der Bäume und Sträucher und nicht

Digitized by Google

an dem mit tiefem Schnee bedeckten Boden suchen. Daher erscheinen letztere, insbesondere die Baumsamen- und Beerenfresser, nicht allwinterlich in unsern Gauen, oft viele Jahre nacheinander gar nicht, während sie sich fast unfehlbar bei uns zu Lande einstellen, wenn hier die Samen und Beeren gut geraten sind. Im Gegensatz zu diesen unsteten Wanderern ziehen sich alle Vögel, wie überhaupt auch alle größeren Säugetiere, die keinen Winterschlaf abhalten, von ihren sommerlichen Revieren in hohen Gebirgslagen über die ungünstige Winterszeit in tiefere Gegenden hinab, um mit Beginn des Frühlings, ebenfalls zu einer bestimmten Zeit, wieder nach ihrem heimatlichen Standorte zurückzukehren. Auch ihre Reise ist also derjenigen der Zugvögel ähnlich, wenn sie sich auch nur auf geringe Distanzen beläuft. Das Streichen der Vögel geschieht während des ganzen Jahres und auf der ganzen Erde. Vor allem streichen alle Hagestolzen und Witwer, die keiner bestimmter Brutreviere bedürfen, größere Raubvögel schon ihrer Nahrung wegen. Andere schweifen scheinbar mehr zu ihrem Vergnügen als der Notwendigkeit folgend umher; einzelne bewegen sich dabei in sehr engem Kreise, andere dagegen durchwandern hunderte von Kilometern. Wie weit sich aber auch ihre Wanderung erstrecken mag, stets ist da ihre Heimat, zu der sie immer wieder zurückkehren, wo ihre eigene und ihrer Kinder Wiege stand, wo ihre Häuslichkeit, ihr Nest sich findet.

Wie die Vögel schon vielfach in strenger, für ihr ganzes Leben, solange das betreffende Weibchen lebt, andauernder Monogamie haushalten und die Brutpflege auf ein für Saurierabkömmlinge ganz unerhörte Höhe gebracht haben, so wurden sie hierin noch weit durch die Säugetiere übertroffen, denen es ermöglicht ward, ihre Jungen immer längere Zeit im mütterlichen Organismus selbst zu nähren und zu hegen und nach deren in verhältnismäßig recht entwickeltem Zustande erfolgenden Geburt die Ernährung an der Mutterbrust mit sehr weitgehendem Schutze und einer eigentlichen Erziehung fortzusetzen. Eine solche Fürsorge für die kommende Generation ist weitaus der beste Lebensschutz, den es gibt; sie ermöglichte diesem Geschlechte den vollständigen Sieg über alle andern, weniger gut im Kampfe ums Dasein ausgestatteten Arten und die Weltherrschaft, die in ihrem höchsten Repräsentanten, dem Menschen, ihren Kulminationspunkt fand.

Bei den Vögeln ist stets nur der linke Eierstock und der linke Eileiter ausgebildet, während die entsprechenden, als altes Wirbeltiererbe ursprünglich vorhandenen rechten Organe nur ausnahmsweise

Digitized by Google

bei manchen Tagraubvögeln, wie Falken, Habichten und Bussarden, als Rudimente angedeutet sind. Unweit der Einmündung in die Kloake besitzt der linke Eileiter einen als Uterus bezeichneten erweiterten Abschnitt, in welchem die um die große, mit reichem Nahrungsdotter versehene Eizelle in den oberen Abschnitten des Eileiters abgeschiedene, ebenfalls zur Nahrung des Jungen dienende Eiweißmasse und zuletzt die Schalenhaut zum Schutze des Inhalts mit einer festen, ebenfalls von den in der Eileiterwandung befindlichen Drüsen abgesonderten Kalkschale umgeben wird. Dann werden die Eier entweder vom Weibchen allein, oder vom Weibchen und Männchen gemeinschaftlich, nur ausnahmsweise, wie bereits früher erwähnt wurde, z. B. beim amerikanischen Strauße, dem Nandu, und den Wassertretern, vom Männchen allein ausgebrütet.

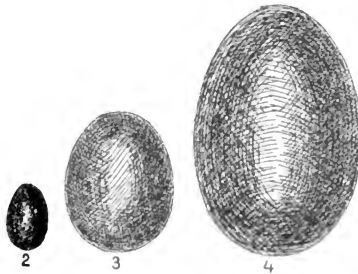


Fig. 276. Vergleich der Eiergröße von 1 Kolibri, 2 Huhn, 3 Strauß und 4 vom ausgestorbenen neuseeländischen Riesen-Moa Dinornis giganteus.

Mit den Ursäugern, welche noch manche Übereinstimmung mit den Reptilien aufweisen, kam zu Beginn der mesozoischen Zeit, in der Trias, der erste Anlauf zu höherer Tierentwicklung, der in der Folge zu Warmblütigkeit, vollständigem Austragen und Säugen der Frucht in Verbindung mit höchster Gehirnentwicklung führte. Diese mit den Multituberkulaten verwandten Tiere sind nach ihrer Blütezeit während der Jura- und Kreideformation zu Beginn der känozoischen Periode bis auf zwei Typen ausgestorben. Es sind dies die für die vergleichende Anatomie hochbedeutsamen lebenden Fossilien, das Schnabeltier und der Ameisenigel, die sich in dem an altmodischen Pflanzen- und Tierformen so reichen Australien bis auf den heutigen Tag erhielten. Diese beiden Tiere bilden tatsächlich eine Übergangsstufe vom Reptil zum höheren Säugetier schon durch ihren ganzen anatomischen Bau, nämlich das Vorhandensein wohlentwickelter Halsrippen, eines großen Korakoids oder Rabenbeins, an welchem die betreffenden Schlüsselbeine

Digitized by Google

befestigt sind, eines ganz reptilienähnlichen Episternums, das Fehlen eines Kammes am Schulterblatt, die primitive Form des Steigbügels, den nur schwach spiraliggebogenen Schneckengang, das Vorhandensein von Knorpel in der Sklera des Auges, die schwache Entwicklung des Hirnbalkens, das ganze Verhalten des Harn- und Geschlechtsapparats, das Vorhandensein der reptilhaften Kloake, die niedrige, fast noch wechselwarme Körpertemperatur, welche beim Schnabeltier während seines Sommerschlafes sich ganz wie beim Kaltblüter verhält und manches andere mehr.

Wie bei den Vögeln funktionieren bei diesen Monotremen oder Kloakentieren stets nur der linke Eierstock und Eileiter, während

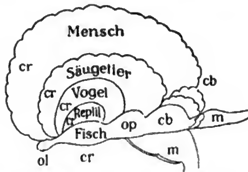


Fig. 277. Schematische Darstellung des Gehirnzuwachses bei den verschiedenen Wirbeltieren in Übereinanderzeichnung: ol Riechlappen, cr Großhirn, op Mittelhirn, cb Kleinhirn, m verlängertes Mark.

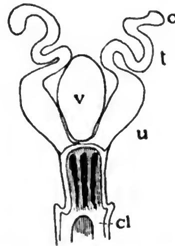


Fig. 278. Geschlechtsapparat eines weiblichen Schnabeltiers, Ornithorynchus paradoxus; o Eierstöcke, t Eileiter, v Harnblase, u Fruchthalter mit getrennten Ausgängen in die für alle Ausscheidungen gemeinsame Kloake cl.

die rechten betreffenden Organe nicht wie bei den Vögeln bis zum völligen Verschwinden zurückgebildet werden, sondern zwar vorhanden, aber funktionsunfähig sind. Im rechten Eierstock gelangen bei ihnen die Eier nie völlig zur Reife. Nach erfolgter Befruchtung wird das ebenfalls wie bei den Reptilien große, dotterreiche Ei im Eileiter mit einer verhältnismäßig dünnen, lederartigen Schale umgeben, aber es vergrößert sich im untersten Abschnitte des Eileiters, wo bei den Vögeln die Kalkschale ausgeschieden wird, zunächst noch in dieser Hülle beträchtlich durch Aufnahme von ernährenden Substanzen aus den Geweben der Mutter. Letzteres ist bei den Eiern der Reptilien und Vögel gar nie der Fall, indem diese nach der Bildung der Schale absolut keine weiteren Stoffe mehr aufnehmen und auch nicht mehr wachsen.

Digitized by Google

Das noch altertümlichere Schnabeltier, das als Dämmerungstier, morgens und abends außer von Insektenlarven, Würmern und Schnecken, hauptsächlich von Muscheln lebt, die es zuerst in den geräumigen Backentaschen aufspeichert, um sie dann, an der Wasserfläche regungslos treibend, mit seinen hornverdickten Kieferrändern besser als mit seinen Zähnen, von denen das junge Tier insgesamt acht besitzt, gemütlich zu zermalmen und zu fressen, legt im Grunde seiner 6—10, ja sogar gelegentlich 15 m langen selbstgegrabenen Röhre, welche in das Wasser mündet und schräg nach oben in einen Kessel führt, der mit einem oberirdischen Kanal zur Luftzuführung versehen

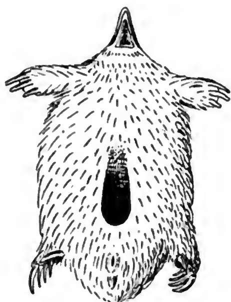


Fig. 279. Bauchseite eines brütenden weiblichen Ameisenigels, Echidna hystrix, mit dem Beutel in der Mitte, in welchem das Ei getragen wird, und darunter die Mündung der Kloake.

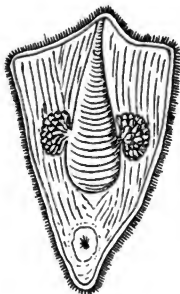


Fig. 280. Der Brutbeutel des Ameisenigels von der inneren Hautfläche gesehen. Er ist von starken Muskeln umgeben und in ihn mündet jederseits ein Büschel Milchdrüsen. Darunter die Mündung der Kloake. Nach Haacke.

ist, zwei Eier, deren Junge nach der Ausbrütung das Sekret einer zitzenlosen Bauchdrüse mit wässerigem Inhalte ablecken. Der ebenfalls als scheues nächtliches Tier im dichten australischen Buschwalde, dem Scrub, nach Würmern, Kerbtieren und besonders Ameisen suchende Ameisenigel legt fast stets nur noch ein Ei. Bei 60 trächtigen Weibchen fand der hauptsächlichste Erforscher dieser Tiere, Prof. Richard Semon in Jena, nur einmal zwei Junge, sonst stets nur ein einziges. Die gegenüber den höheren Säugetieren recht stumpfsinnigen, aber mit starkem Freiheitsdrange beseelten Tiere haben ein im Vergleich zu den Reptilien auffallend großes, mit zahlreichen Furchen und Windungen zur Oberflächenver-

Digitized by Google

größerung versehenes Gehirn. Als nächtliche Tiere, denen die Augen nicht viel nützen würden, ist wohl der Gesichtssinn ziemlich stumpf, dafür aber der Geruchssinn ganz fabelhaft ausgebildet, so daß sie, wie Semon berichtet, auf 6 km Distanz sicher ihren Heimweg finden. Besonders zur Brunstzeit, die einmal im Jahre stattfindet, und zwar im Juli, verbreiten beide Geschlechter einen ausgesprochenen Geruch, der zur gegenseitigen Auffindung und jedenfalls auch zur sexuellen Erregung dient. Zu letzterem haben die Männchen, von denen etwa drei auf ein Weibchen kommen, auch einen hohlen Sporn an der Innenseite der Vorderfüße mit damit verbundenem Drüsenapparat, den sie bei der Begattung den Weibchen in die Flanken bohren. Das ab-



Fig. 281. Sehr dünnhäutiges Ei des australischen Ameisenigels, Echidna aculeata, in natürlicher Größe. Nach Semon.

gelegte Ei ist 1,5 cm lang, mit lederartiger Schale, vollkommen frei von Kalksalzen wie bei den Reptilien, doch wie bei jenen und den Vögeln vorzugsweise aus Keratin bestehend, und enthält bei seiner Ausstoßung aus dem Weibchen einen 0,5 cm langen Embryo. Nach dessen Ablage befördert es die Mutter mit der langen, sich nach der Spitze zu verschmälernden, nackten Schnauze über den Boden hinwegschiebend in eine unpaarige sackförmige Vertiefung der Bauchseite, um es darin auszubrüten, wobei die Temperatur des Sackes um mehrere Grade über diejenige des übrigen Körpers steigt. Dieser dem Schnabeltiere fehlender Brutsack bildet sich beim Weibchen jedesmal zur Brunstzeit aufs neue und verstreicht nachher wieder. Er wird schon beim Embryo von 8—9 cm Länge angelegt, verschwindet aber wieder bis zum Auftreten der ersten Brunstzeit. Im Beutel entwickelt sich nun der im Ei eingeschlossene Embryo auf Kosten des Dottermaterials wie beim Reptile und Vogel weiter und erreicht die Länge von 1,5 cm, wobei er mit seiner vorher entstandenen hornigen Verdickung auf der Schnauzenspitze, entsprechend dem ganz ähnlichen Eizahn der Reptilien und Vögel, die Schale aufbricht. Die gesprengte Schale entfernt die Mutter alsbald. Jetzt liegt der unbeholfene, kleine, nackte Embryo frei im Beutel und leckt, da bei seiner Mutter noch keine Zitzen vorhanden sind, die von umgewandelten Schweißdrüsen abgesonderte eiweißreiche Milch im Grunde des Brutbeutels. Bei allen übrigen Säugetieren mit Einschluß der Beuteltiere wird sonst die Milch, die auch viel phosphorsäurereicher ist, von umgewandelten Talgdrüsen ausgeschieden. Diese

Digitized by Google

noch spärlich abgeschiedene wässrige Milch leckend und sich davon nährend vollführt das Junge des Ameisenigels seine weitere Entwicklung im Brutbeutel seiner Mutter, bis es etwa 8—9 cm erreicht hat, zu welcher Zeit sein eigener Brutbeutel angelegt ist und die Stacheln hervorzubrechen beginnen. Es ist nun von der Befruchtung an gerechnet 10 Wochen alt geworden. Jetzt erst gräbt die bis dahin in Verstecken im Gebüsch und zwischen Felsen sich über Tag aufhaltende



Fig. 282. Embryo des Ameisenigels kurz vor dem Auskriechen aus dem Ei mit noch stummelhaften Extremitäten und einer dem Eizahne der Reptilien und Vögel entsprechenden hornigen Verdickung auf der Nasenspitze zum Durchbrechen der Eischale. (Stark vergrößert.)

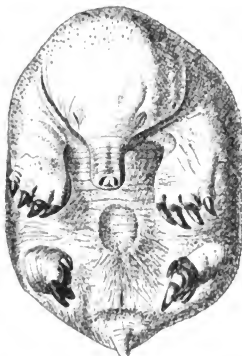


Fig. 283. Aus dem Tragbeutel seiner Mutter genommener Ameisenigel, kurz vor der Entlassung aus demselben mit der angelegten Mammartasche (in 3/4 natürlicher Größe.) Nach Semon.

Mutter ihrem Jungen eine Höhle, wohin sie nach den nächtlichen Streifereien zurückkehrt, um das Junge zu säugen, bis es der mütterlichen Pflege völlig entwachsen sich selbständig macht.

Dieser Brutbeutel des Ameisenigels spielt bei den nächsthöheren, doch noch immer recht niedrig gestellten Säugetieren, den eben nach seinem Besitze sogenannten Beuteltieren eine recht wichtige Rolle; ja, Spuren von ihm finden sich in Form der embryonalen Mammartasche und später noch als Reste eines Schließmuskels bis zu den höchsten Säugergruppen. Noch bei Halbaffen, wie beispielsweise beim Plumplori,

Digitized by Google

tauchen Reminiscenzen an dieses Organ der allerniedrigsten Säugetiere, der mesozoischen Ursäuger, in Form von Hautfalten in der betreffenden Gegend des Leibes auf. Diese Beuteltiere sind im Eocän bis nach Australien gelangt, wo sie neben den letzten Mohikanern des Ursäugerstammes, den Kloakentieren, ein Asyl fanden. Während sie in der Folge überall auf Erden bis auf zwei Gruppen, den Beutelratten, in Amerika von den für den Kampf ums Dasein so viel besser ausgestatteten und intelligenteren höheren Säugetieren verdrängt und ausgerottet wurden, haben sie sich als höchste Tiergattung im australischen Gebiete behaupten können, indem nach ihrem Einzuge in jenen Kontinent aus Nordwesten, vom asiatischen Festlande her, die letzten jenes Gebiet mit Asien verbindenden Landbrücken für immer abgebrochen wurden. Dadurch konnten später die höher organisierten Säugetiere nicht mehr nach jenem gleichsam von der Fortentwicklung ausgeschalteten Lande gelangen; sonst hätten sie auch hier dieses stumpfsinnige, altertümliche Geschlecht gänzlich ausgerottet. So aber, vom allgemeinen Wettbewerbe der höheren Formen abgeschnitten, haben sie in der späteren Tertiärzeit noch Riesenformen von Naßhorn- und Eisbärengröße hervorgebracht, die aber während der Diluvialzeit, wie wir im vorhergehenden Abschnitte erwähnten, ausstarben.

Bei den Beuteltieren ist als niederes, an die Reptilstufe erinnerndes Merkmal neben der geringen geistigen Entwicklung die überaus schwache Entwicklung der Hirnbalken, welche die Associationsbahnen der Großhirnrinde umfaßen, charakteristisch, ferner das Vorhandensein einer wenn auch nur grubenförmigen Kloake beim Weibchen, in welche die beiden Eileiter, die gleicherweise in Funktion treten, noch getrennt einmünden. Von den bis zu sieben Backenzähnen in jeder Kieferhälfte hat, als weiteres überaus altertümliches Merkmal, nur der dritte einen Vorgänger, der überhaupt der einzige Milchzahn ist, der, so viel man weiß, bei diesen Tieren auftritt. Sie nähern sich auch sonst gegenüber den primitiven Kloakentieren den höheren, placentalen Säugetieren, indem der Korakoidknochen bei ihnen nunmehr rudimentär geworden und in engere Verbindung mit dem jetzt einen Kamm aufweisenden Schulterblatte getreten ist, das Episternum fehlt, der Schneckengang spiralig gewunden ist, der Harn- und Geschlechtsapparat ihre reptilhaften Merkmale ziemlich verloren haben und auch als wichtige Neuerung zum ersten Male Zitzen vorhanden sind. Noch ist zwar in Verbindung mit ihrer geistigen Stumpfheit die Körpertemperatur niedriger als bei den höheren, placentalen Säuge-

Digitized by Google

tieren, wenn auch entschieden viel höher als bei den altertümlichen, so viel Reptilanklänge zeigenden Kloakentieren.

Eier werden zwar von den Beuteltieren nicht mehr gelegt, aber das Junge wird so überaus unentwickelt, man möchte sagen larvenhaft geboren, daß schon darin ein sehr altertümlicher Zug liegt. Wie noch bei den Ursäugern der Kreidezeit sind die Nieren des kleinen Beuteltierjungen auf einer Urstufe unterhalb der echten Nierenbildung der höheren Säugetiere; die Ausführungsgänge des Leibes entsprechen bei ihm noch vollkommen denjenigen der Kloakentiere. Die Hinterbeine sind noch kleine, flossenartige Stummel. Die Sinnesorgane sind nicht nur noch äußerlich verschlossen, sondern überhaupt noch gar nicht fertig ausgebildet, die Schnecke des Gehörs beispielsweise noch gar nicht spiralig aufgerollt.

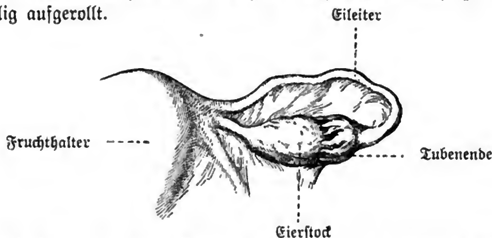


Fig. 284. Schema der aktiven Anlegung des trichterförmig erweiterten Endes des Eileiters an den Eierstock im Moment des Platzens des Graafschen Follikels und der Ausstoßung des Eies bei der Ovulation des Menschen.

Nachdem sich das nunmehr kleine, weil nicht mehr mit Dotter ausgestattete Ei im untersten Teile des Eileiters, dem Uterus, festgesetzt hat, entwickelt es sich dort und wird von einer in der Eileiterwand abgesonderten Flüssigkeit ernährt. Wie bei den Reptilien und Ursäugern ist es außer der serösen Hülle, dem Amnion oder der Schafhaut, welche das Fruchtwasser abscheidet, in welchem der Embryo schwimmt, noch mit der Allantois oder dem Harnsack als einer Ausstülpung des Enddarms ausgestattet, in welche durch den Wolffschen Gang das Sekret der Urnieren ausgeschieden wird. Nur der Dottersack besitzt wie bei den Reptilien und Ursäugern Blutgefäße, nie aber die Allantois, so daß es bei ihnen niemals zu einer Placenta, einem Fruchtkuchen, d. h. zu einer innigeren Verbindung von Kind und Mutter kommt. Deshalb klassifiziert man auch die Beuteltiere als niedrigste, aplacentale Säugetiere.

Digitized by Google

Das noch ganz gekrümmt wie die Embryonen der höheren Säugetiere in all seinen Eihäuten geborene Junge wird von seiner Mutter durch Aufbeißen seiner Hüllen befreit, hernach mit dem Munde in den Brutbeutel gebracht und darin von derselben dann noch mit seinem offenen Munde gegen die Milchzitze gedrückt, die nun nicht mehr Schweißdrüsensekret, wie bei den Kloakentieren, sondern richtige Talgdrüsenabsonderung wie bei allen höheren Säugetieren liefert. Solchermaßen in Trinkstellung gebracht wächst ihm alsbald die Mundspalte links und rechts von der Zitze fest zu, so daß die Zitze wie in einer Röhre liegt und nicht mehr hinausrutschen kann, was ja das Junge durch Mangel an Nahrungszufuhr zum Absterben bringen würde. Um eine solche Kalamität weiterhin völlig zu verunmöglichen, schwillt auch noch die Zitzenspitze an, so daß ein regelrechter innerer Saugpfropfen entsteht, der vorläufig gar nicht mehr durch die enge Mundröhre zurück kann. Selbst saugen kann aber das Beuteljunge noch

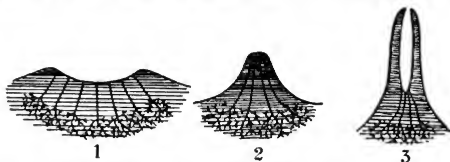


Fig. 285. Die drei Hauptformen des Milchdrüsenganges bei den Säugetieren. 1 indifferente Anlage mit einem Milchdrüsen- oder Mammarfeld (beim Ameisenigel), 2 echte Brustwarze (bei Halbaffen, Affen und Mensch), 3 falsche Brustwarze oder Pseudozitze (bei Raubtieren, Schweinen, Pferden und Wiederkäuern). Die Form 2 und 3 findet man schon bei den Beuteltieren nebeneinander. Während die Mehrzahl derselben echte Brustwarzen ausbildet, besitzt der Fuchskusu falsche Brustwarzen. Beiderlei Bildungen sind also schon früh nebeneinander durch die Bedürfnisse der hungrigen Jungen ausgebildet worden. Auch bei den Männchen sind die Brustwarzen vorhanden, die gelegentlich in Ausnahmefällen sogar Milch liefern können; dies ist z. B. beim Menschen wiederholt beobachtet worden.

gar nicht. Dafür hat die Milchdrüse im Grunde des Beutels einen eigenen Muskel, den die Mutter willkürlich zu bewegen vermag und mit dem sie dem Jungen von Zeit zu Zeit die Milch in den Schlund spritzt. Damit nun die Milch nicht dem durch die Nase atmenden Jungen in die Luftröhre laufen kann und es so zum Ersticken bringt, ragt ihm der Kehlkopf in besonderer Weise in die Nase hinauf, während zu beiden Seiten die von der Mutter gespritzte Milch an ihm vorbei in die Speiseröhre und den Magen rinnt. Gleichzeitig ist die

Digitized by Google

Lunge durch besondere Vorrichtungen noch eigens diesem eigentümlichen Verhältnisse angepaßt, mit einem unbeweglichen Pfropfen im Munde nicht zu ersticken. Während die Hinterbeine in dieser Zeit noch formlose Stummel sind, wie wir sie auch im frühesten Intrauterinleben bei den Embryonen der höhern Säugetiere antreffen, haben sich die Vorderbeine ganz gehörig ausgebildet und bereits starke Krallen entwickelt, mit denen das im Munde unlösbar an die Mutter angeschlossene Beuteljunge sich nunmehr auch fest an den inneren, wärmenden Haarüberzug des Beutels anklammern kann. Zunächst noch vollkommen außerstande seine Eigenwärme zu behaupten, bildet es dieses Vermögen immer besser aus, je größer es wird und je selbstständiger es zu leben beginnt. Aber auch wenn es keine Muttermilch

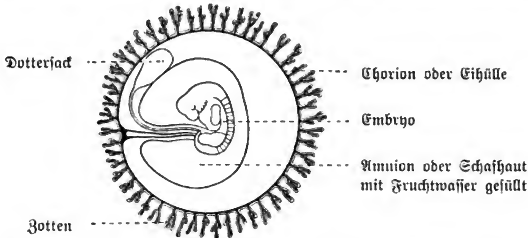


Fig. 286. Menschliches Ei in der zweiten Woche nach der Zeugung. (Achtfach vergrößert.)

mehr bekommt und selbständig von grünen Pflanzenstoffen, besonders den Gräsern der Steppe und den Blättern der Scrubsträucher zu leben vermag, schlüpft es noch lange bei jeder ihm drohenden Gefahr in den Beutel der Mutter, wo es wohlgeborgen ist und zudem noch recht angenehm gewärmt wird.

Erst bei den höheren, placentalen Säugetieren wird, wie wir früher in Kürze andeuteten, die Lebensfürsorge und der Schutz, den die Mutter ihrem Jungen angedeihen läßt, noch viel weitgehender durchgeführt. Nicht mehr sitzt der Embryo mit seinen Fruchthüllen im untersten Abschnitte des Eileiters, im Uterus, um sich durch Aufsaugung einer von der Eileiterwand abgesonderten Flüssigkeit, wie bei den Beuteltieren, zu ernähren, sondern von jetzt an tritt eine innige Verbindung desselben mit den mütterlichen Geweben des Uterus ein. Die

Digitized by Google

Allantois oder der Harnsack wird reich mit embryonalen Blutgefäßen durchzogen, deren letzte Verzweigungen in das bindegewebige Gerüst der von den Eihäuten gebildeten, reich verästelten hohlen Zotten hineinwachsen. Dabei geht zuletzt die ursprüngliche Eihülle, das Chorion primitivum, unter und es erfolgt eine allgemeine Vascularisation, d. h. ein Durchzogenwerden mit Blutgefäßen der nunmehr von der Allantois gebildeten zottigen Gefäßschicht, die von den vom Ektoderm abstammenden Zellen der serösen Hülle überzogen wird.

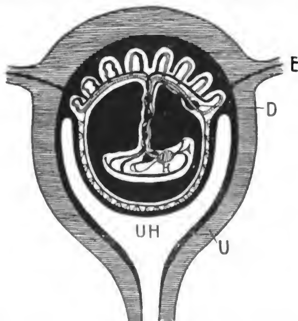


Fig. 287. Schematischer Durchschnitt durch den schwangern Uterus oder Fruchthalter des Menschen. In der Uterushöhle UH die (schwarze) Schleimhaut im Gebiete der Placenta als Decidua vera, um die Frucht herum als Decidua reflexa. Das Ei mit den Zotten sich im Bereiche der ersteren mit starken Gefäßschlingen zum Stoffaustausch mit der Mutter verankernd. Im (schwarzen) Fruchtwasser schwimmt der Embryo (weiß) mit Herz H am Nabelstrang mit den Nabelgefäßen und der Dotterblase D hängend, E Eileiter.

Auf einer spätern Stufe geht die Vegetation der gefäßhaltigen Zotten im ganzen Bereiche der Eihaut unter, welche von der Decidua reflexa, d. h. dem wie eine schwalbennestartige Tasche um das ganze Ei gewucherten Uterusschleimhaut bedeckt wird. Dagegen werden die Eihautzotten, so weit sie der Decidua vera, d. h. der ebenso wie die Decidua reflexa bei der Geburt ausgestoßenen — deshalb eben membrana decidua, d. h. die abfallende Haut genannt — aber als vera nichts anderes, als die verdickte, sehr blutreiche, gelockerte und nur sehr lose an der Uteruswand befestigten Schleimhaut des Fruchthalters darstellenden Überzuge selbst anliegen, größer und verästelter. Es bildet sich im Gegensatz zum primitiveren Chorion laeve das Chorion frondosum, dessen große blutreiche Zotten nun durch die Drüsengänge in das mütterliche Gewebe der Uterusschleimhaut eindringen und, vom Blute der Mutter umspült, in den großen sogenannten Decidualkapillaren flottieren. Diejenige Stelle, an welcher sich diese innige, weitgehende Verbindung zwischen dem Embryo und seiner Mutter

Digitized by Google

vollzieht, bezeichnet man als Placenta oder Mutterkuchen. Um ihren Rand verlaufen größere Venengefäße der Mutter, der Randsinus der Placenta.

Diese Placenta ist das Ernährungs- und Atmungsorgan des Embryos, der nun nicht mehr als solcher, sondern als gut entwickelter Foetus geboren wird. Durch Endosmose erhält er von den mütterlichen Bluträumen aus durch die Hüllen und Gefäßwände der Zotten, in denen das fötale Blut zirkuliert, das nötige Material zu seinem Wachstume und guten Gedeihen. Unter den placentalen Säugetieren bildet die niedrigste Gruppe diejenige der mammalia non deciduata, d. h. die Decidualosen, bei denen die von den Allantoisgefäßen versorgten Zotten sich aus den Gruben der Uterusschleimhaut, in denen sie stecken, loslösen. Bei ihnen ist die placentare Zottenbildung zunächst diffus, wie bei den Dickhäutern, Walen, Einhufern und Kamelen, auf einer höheren Stufe dagegen lokalisiert sie sich, indem die großen Zotten in Gruppen ausgebildet werden und in die Uterindrüsen entsprechenden, stark gewucherten Schleimhautwülste, die Kotyledonen, hineinwachsen, aus denen sie sich bei der Geburt herausziehen. Bei den mammalia deciduata bildet sich, als einer höheren Stufe, eine so innige Verwachsung der Chorionzotten mit der Uterusschleimhaut, daß von letzterer bei der Geburt ein entsprechendes Stück abgestoßen werden muß. Dabei kann die Placenta, wie wir sahen, gürtelförmig sein wie bei den Landraubtieren und den davon abstammenden Flossenfüßlern oder Seehunden, dem Klippschliefer und seinem entfernten Verwandten, dem Elefant usw., oder sie ist scheibenförmig wie bei den Zahnlosen, den Flattertieren, den Insektenfressern, den Nagern, den Affen und dem Menschen.

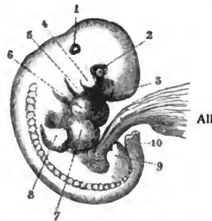


Fig. 288. Menschlicher Embryo am Anfang der dritten Woche (vergrößert). 1 Hörblase, 2 Augenblase, 3 Geruchsgrube, 4 und 5 Kiemenbogen, die zum Ober- und Unterkiefer werden, 6 rechtes Herzohr, 7 Leber, 8 Armstummel, 9 Fußstummel, 10 Schwanzende, All Allantois.

Entsprechend dem Besserversorgtsein und dem Längerausgetragenwerden der Frucht vereinfachen sich auch die weiblichen Geschlechtsorgane der Säugetiere. Während bis hinauf zu den Beuteltieren die nunmehr als Müllerschen Gänge bezeichneten Eileiter ganz ge-

Digitized by Google

trennt verlaufen, verschmelzen bei den höheren Formen die unteren Abschnitte derselben zur Scheide. Vom doppelten Uterus, den wir noch beim Hasen finden, entsteht durch Verschmelzung des untern Teils zu einem Raume der zweihörnige Uterus, bis zuletzt bei den höchsten Formen, den Affen mit Einschluß des Menschen, ein einfacher Uterus oder Fruchthalter entstanden ist.

Ähnlich der Vereinfachung der weiblichen Genitalien wird auch die Ausbildung der männlichen Geschlechtsorgane eine zweckmäßigere.

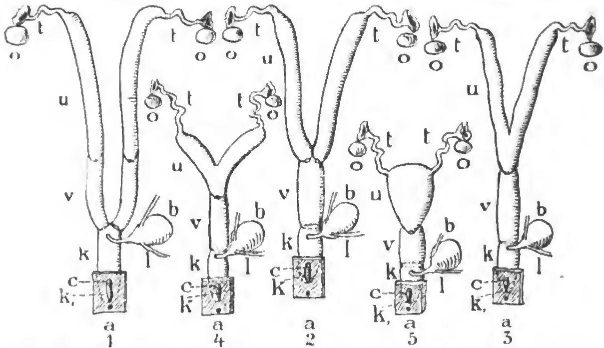


Fig. 289. Weibliche Geschlechtsorgane verschiedener Säugetiere von unten gesehen. 1 Beuteltier, die Müllerschen Gänge ganz getrennt. 2 Hase, die Uteri getrennt, die Scheiden aber bereits zu einer vereinigt. 3. u. 4 das gewöhnliche Verhalten, indem die Vereinigung der Müllerschen Gänge noch weiter fortgeschritten, der Uterus nur noch gehörnt ist. 5 einfacher Uterus bei den Affen und beim Menschen. a After, b die seitlich gelegte Harnblase, c Clitoris, k Urogenitalkanal, k_1 dessen Öffnung, l Harnleiter, o Eierstock, t Tube oder Eileiter mit dem sich beim Platzen eines Graafschen Follikels um den Eierstock legenden Trichter, u Uterus oder Fruchthalter, v Vagina oder Scheide. Nach Boas.

Bei allen Säugetieren liegen die Hoden, die bei manchen Formen, wie Rehbock, Igel usw. wie bei den Vögeln außerhalb der Brunstzeit eine Rückbildung erfahren, beim Embyro zunächst an der dorsalen Wand der Bauchhöhle wie bei den Reptilien und Vögeln. Bei einigen, wie den Kloakentieren, Walen, Elefanten usw. bleiben sie zeitlebens in dieser Lage. Bei den meisten aber senken sie sich am Ende des Embryonallebens, oder beim jungen Tiere in je eine Ausstülpung der ventralen Bauchwand hinab. Meistens sind die beiden Ausstülpungen

Digitized by Google

äußerlich zu einem beutelförmigen Körper, dem Hodensack, vereinigt, der durch eine Scheidewand in zwei Fächer geteilt wird. Jedes Fach enthält einen Hoden, und sein Hohlraum steht durch einen weiteren oder engeren, oft mit der Zeit verwachsenden Kanal mit der übrigen Bauchhöhle in Verbindung. Letzteres ist beim Menschen der Fall, bei manchen Säugetieren jedoch, wie bei den Insektenfressern und Nagetieren, treten die Hoden nur wenn sie sich zur Brunstzeit vergrößern in den Hodensack hinab und liegen die übrige Zeit hindurch in der Bauchhöhle.

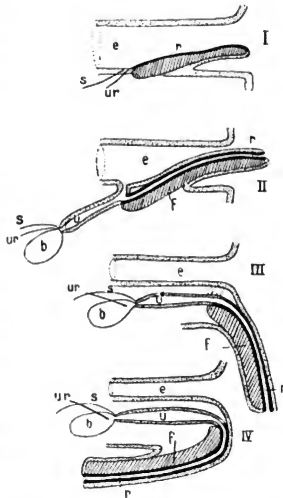


Fig. 290. Schematische Längsschnitte durch die Kloake bezw. Enddarm und das Begattungsorgan I eines Krokodils, II eines Kloakentiers, III eines niederen, IV eines höheren Säugetiers, e Enddarm mit Kloake bei I u. II, ur Harnleiter, b Harnblase, u Urogenitalkanal (in III ist das zugrunde gegangene Stück desselben punktiert dargestellt), s Samenleiter, r in I Samenrinne, in II—IV Samenröhre, f fibröser Körper mit Schwellvorrichtung.

Bei den Kloakentieren münden die Samenleiter mit den Harnleitern und der Harnblase zusammen in eine enge tiefe Ausstülpung der ventralen Wand der Kloake, den Urogenitalkanal, der dem gleichnamigen der weiblichen Tiere entspricht. Mit der ventralen Wand der Kloake ist die Rute verbunden, die nun nicht mehr in einer Rinne, wie bei den Reptilien und Vögeln, sondern in einer geschlossenen Röhre den Samen leitet. Bei den niedrigsten Säugetieren noch wie bei den Reptilien und Vögeln nach hinten gerichtet, rückt die Rute bei den höheren Formen immer mehr vom After weg gegen die Bauchseite und richtet ihre Spitze nach vorn. Zugleich übernimmt sie beim Männchen das Nachaußenleiten des Harnes, der von den Nieren ausgeschieden und in der aus dem Beckenabschnitte des Allantoisganges gebildeten Harnblase aufgespeichert wird, um von Zeit zu Zeit entleert zu werden. Diese Harnorgane haben bei den Wirbeltieren, wie

Digitized by Google

auch die Geschlechtsorgane, eine komplizierte Geschichte, auf die wir nicht näher eintreten können. Es genüge hier zu bemerken, daß der sekretorische Apparat bei den Wirbellosen, speziell Würmern, in einem segmental gebauten Nephridium besteht, das als ein Wimpertrichter die abgeschiedene Flüssigkeit direkt aus der Leibeshöhle aufnimmt und durch einen drüsigen, mit wimperndem Flimmerepithel bedeckten, zunächst geraden, dann schleifenförmig oder wiederholt gewundenen Gang, den Segmentalkanal, direkt nach außen führt. In einem späteren

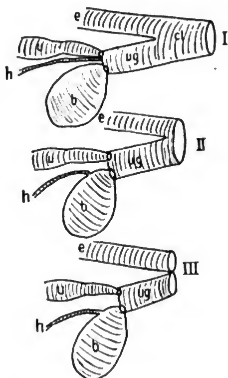


Fig. 291. Die Endabschnitte des Darmes, des Harn- und Geschlechtsapparates verschiedener weiblicher Säugetiere schematisch von der Seite. I Monotrem oder Kloakentier, II Beuteltier, III höheres Säugetier, e Enddarm, cl Kloake, ug Urogenitalkanal, u Uterus, h Harnleiter, b Harnblase.

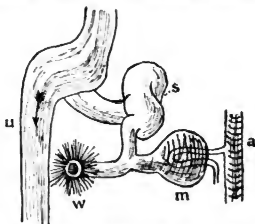


Fig. 292. Segmentales Nephridium eines Amphibiums, Ichthyophis glutinosa. a Aorta, von welcher eine Blutgefäßschlinge in das im Innern mit Wimperhaaren ausgekleidete Malpighische Körperchen m eindringt. w der in das Coelom mündende Wimpertrichter, s Segmentalkanal, der in den als Urnierengang bezeichneten Längskanal u mündet.

Stadium münden die Segmentalkanäle in einem gemeinsamen Gange nach außen. Dies ist noch bei den niedrigsten Wirbeltieren, den Fischen und Amphibien, der Fall, bei denen aus dem Nephridium ein ebenfalls segmental gebautes Organ, das Pronephros- oder Vornierensystem geworden ist, in welchem neben dem Wimpertrichter ein zur Ausscheidung von Flüssigkeit aus dem Blute durch Stauung dienende bläschenförmige, einen Gefäßknäuel umfassende Erweiterung, das sogenannte Malpighische Körperchen gebildet wird. Der sich anschließende Segmentalkanal führt dann durch einen Längskanal, den man als

Digitized by Google

Urnieren- oder Wolffschen Gang bezeichnet, nach außen. Diese Vorniere, die, weil sie dicht am Kopfende gelegen ist, auch Kopfniere heißt, wird bei den Amphibien gegen das Ende des Larvenzustandes zurückgebildet und funktionslos. Dafür bildet sich ein Mesonephros- oder Urnierensystem aus als ein dicker, zu beiden Seiten der Wirbelsäule gelegener Körper mit einer Reihe von geschlängelten Exkretionskanälchen und Malpighischen Körperchen, die im Gegensatz zum flimmernden Epithel der Amnionlosen einen flimmerlosen würfelförmigen Zellüberzug besitzen. Der Wolffsche Gang mündet zunächst in die Kloake, später dann in den Urogenitalkanal. Bei den Säugetieren endlich bis hinauf zum Menschen bilden sich an Stelle der Urnieren die beiden Dauernieren, Metanephros genannt, die vom untern Ende des Wolffschen Ganges aus in Gestalt einer Epithelsprosse hervorwachsen und allmählich unter Volumenzunahme aus dem Becken heraustreten und hinter die Urniere in die Höhe wachsen. Während noch bei den Amphibien der Wolffsche Gang als Harn- und zugleich Samenleiter diente, wird er bei den Säugetieren nur noch zur Ausfuhr des Samens benützt, indem die Urniere Sprossen in den Hoden hineintreibt. Bei den Weibchen der Säugetiere verkümmert dagegen der Wolffsche Gang und der außerhalb davon gelegene, durch einen Wimpertrichter in die Leibeshöhle mündende Müllersche Gang, der bei den Männchen seinerseits atrophiert, wird zum Eileiter.

Aus der Keimfalte der Wirbellosen und niedrigsten Wirbeltiere wird bei den höheren Formen die Keimdrüse, worin die Ureier nach und nach in mesodermales Gewebe eingebettet werden. Der Prozeß der Einwanderung dieser Ureier, als embryonaler Zellen, die vom Epithel des Eierstockes nach innen gestülpt werden, findet zunächst während des Intrauterinlebens statt und erstreckt sich, z. B. beim Menschen, bis in das zweite Lebensjahr hinein, um dann zu erlöschen. Nur ausnahmsweise, wie bei Hund und Katze — den Raubtieren im allgemeinen — setzt der Prozeß der Eibildung erst nach der Geburt ein, um ebenfalls bald stille zu stehen. Und trotzdem alle diese wegen der weitgehenden Sicherstellung derselben nur für eine geringe Nachkommenschaft zu sorgen haben, wird noch in alter, aus niedrigeren Daseinsstufen ererbter Gewohnheit ein solcher Überschuß davon erzeugt, daß man die Zahl der beim menschlichen Weibe angelegten Eier auf etwa 30000 schätzt, von denen allerdings nur 400 bis höchstens 500 zur Reife gelangen, in die Bauchhöhle ausgestoßen und von da durch die Eileiter nach außen befördert werden.

Digitized by Google

X.

Die Abstammungslehre

Beim Vergleichen der Lebewesen, wie sie uns überall in der Natur entgegentreten, untereinander mußte es frühe schon auffallen, daß manche Gruppen von Pflanzen oder Tieren in engerer Verwandtschaft zu einander standen, daß sie offenbar von einer gemeinsamen Grundform abstammten. Eine konsequente Durchführung dieser Auffassung führt uns zu dem bestimmten Resultat, daß alle Pflanzen und Tiere im Laufe der außerordentlich langen erdgeschichtlichen Entwicklung aus allereinfachsten Urformen sich herausentwickelt haben müssen. Das ist der wesentliche Inhalt der Abstammungslehre, des **Darwinismus**, so genannt nach seinem Begründer, dem größten Naturforscher des vergangenen Jahrhunderts, Charles Darwin. Als Enkel des bedeutenden Naturforschers und Arztes Erasmus Darwin (1731—1802), der bereits in seiner von 1794—98 erschienenen „Zoonomia, or the laws of organic life" ein vollständiges System der Entwicklungstheorie gab, ist Charles Darwin am 12. Februar 1809 in Shrewsbury geboren. Zweiundzwanzigjährig begann er auf dem Schiffe Beagle, d. h. Spürhund, unter Kapitän Fitzroy eine fünfjährige Weltreise als Naturforscher (von 1831—36), auf der er scharf beobachtend Südamerika und die Südsee sturchstreifte, um dann als Privatgelehrter seit 1842 auf seinem bescheidenen Landsitze Down bei Beckenham in Kent jene gewaltige Geistestaten zu vollbringen, die ihn trotz aller Anfeindungen zum glänzendsten Pionier der modernen Naturforschung gemacht haben. Das entscheidende Werk, das die Gemüter der Altgläubigen in nicht geringe Aufregung versetzte, erschien im November 1859, sechs Monate nach dem Tode Alexander von Humboldts, unter dem Titel: Die Entstehung der Arten durch natürliche Zuchtwahl oder die Erhaltung der

begünstigten Rassen im Kampfe ums Dasein. Darin hat er das in der gesamten anorganischen Welt längst selbstverständliche Gesetz der natürlichen Ursache und Wirkung auf die Organismen ausgedehnt, die als Naturgegenstände doch schließlich auch aus Naturgesetzen erklärt werden müssen und nicht so ohne weiteres als durch ein Wunder geschaffene Größen hingenommen werden dürfen. Die betreffenden Naturgesetze sind allbekannt, weil ihre Folgerungen sich jedem täglich bemerkbar machen; es gehörte aber der Genius eines Darwin dazu, um sie einerseits auf ihre einfachste, prinzipielle Form zu bringen und andrerseits durch eine geradezu überwältigende Fülle von Beweismaterial und daraus gezogenen logischen Schlüssen zu jener grandiosen Theorie zu erheben, von der eine neue Weltanschauung und eine neue Epoche der Naturforschung datiert. Am 19. April des Jahres 1882 ist dann der bescheidene, einsame Gelehrte von Down 73jährig gestorben.



Fig. 293. Charles Darwin. 1809—1882.

Der Weg, den die Entwicklung ging und noch immer geht läßt sich in Kürze folgendermaßen klarlegen. Alle Arten von Lebewesen variieren und diese Variationsfähigkeit wird erhöht durch die Individuenmischung, welche durch die geschlechtliche Fortpflanzung, durch die Mischung von väterlicher und mütterlicher Vererbungssubstanz in den Chromosomen erzielt wird. Die Bildung von Varietäten wird durch die äußeren Faktoren begünstigt, denen die Lebewesen bei ihrer Ausbreitung über die Erde ausgesetzt sind. Je nach den klimatischen Verhältnissen, der verschiedenen Belichtung und Temperatur, der besonderen Ernährung usw. entwickelt sich eine über ein großes Landgebiet zerstreute Art in den verschiedenen speziellen Wohngebieten etwas verschieden. Bei fortdauernder Entwicklung desselben Einflusses häufen sich die besonderen Merkmale im Laufe langer Zeiträume derart, daß neue Gattungen entstehen; aus

Digitized by Google

diesen gehen mit der Zeit neue Familien und Ordnungen hervor. Alle diese Verschiedenheiten geben sich durch die Entwicklung der Organismen im Laufe der Hunderte von Millionen Jahren, seit Lebewesen die Oberfläche unseres Planeten bevölkern, von selbst.

Nach dieser Entstehungsweise müssen die Grenzen der verschiedenen Arten, Gattungen, Familien usw. überall unbestimmt und verwischt sein, und dies ist auch tatsächlich der Fall. Nur da sind die Grenzen schärfer unterschieden, wo eben viele Arten, Gattungen usw., welche die Grenzen verwischten, im Laufe der Zeit ausstarben.

Ein Buch für sich ließe sich mit den im Laufe der letzten Jahrzehnte seit Darwin seine epochemachende Schrift veröffentlichte, gesammelten Beobachtungen füllen, welche erst durch diese eigentlich selbstverständliche Abstammungslehre einen vernünftigen Sinn bekommen, während sie ohne dieselbe vollkommen unverständlich sind. Und nicht eine einzige unter den vielen Tausenden von Tatsachen, welche die geschärfte Beobachtung unserer Zeit zu Tage gefördert hat, spricht gegen die Annahme, daß die heute so überaus mannigfaltigen Formen der Lebewesen im Laufe der geologischen Erdentwicklung von einander abstammten, indem sie sich nach und nach aus einfacheren Formen herausdifferenzierten.



Fig. 294. Zwei Neuzüchtungen von Luther Burbank in Santa Rosa, Kalifornien. Die beiden großen Brombeeren in der Mitte gingen aus der Kreuzung der kleinen Brombeere und Himbeere links und rechts hervor (½ natürliche Größe).

Daß die Pflanzen und Tiere keineswegs unveränderlich sind, wie man lange geglaubt, das beweisen ja schon die zahllosen Zuchtrassen der vom Menschen in Pflege und systematische Veredelung nach seinen besonderen Wünschen genommenen Kulturpflanzen und Haustiere, deren Aussehen und Eigenschaften von denen der Wildlinge, von welchen sie ihren Ausgang nahmen, so grundverschieden ist, daß der, welcher die Beweise für diese Herleitung nicht kennt, an der Tatsache der Abstammung der einen Art von der andern nicht glauben könnte. Was hierin der Mensch durch bewußte Auswahl derjenigen Variationen, die er als für ihn nützlich vererbt wünschte, mit der Zeit bewußt züchtete, das hat die Natur durch die natürliche Auswahl „im Kampfe ums Dasein“ zustande gebracht, indem unter den Nachkommen, die stets im Überschuß produziert werden, jeweilen nur diejenigen am Leben blieben

Digitized by Google

und zur Fortpflanzung kamen, welche die zweckmäßigsten Eigenschaften für den Daseinskampf aufwiesen. Indem nun jeweilen nur die für die betreffenden Lebensverhältnisse körperlich und geistig geeignetsten Nachkommen am Leben blieben, mußte sich jede für die betreffende Art nützliche Eigenschaft im Laufe der Zeit summieren und Formen entstehen lassen, die für die betreffenden Lebensbedingungen von vollkommener Zweckmäßigkeit sind. Alle Individuen mit weniger zweckmäßigen Eigenschaften gehen unter und nur die ausgezeichnetsten Individuen bleiben übrig, in denen kleine nützliche Variationen, die einmal zufällig auftauchten, im Laufe der Zeit zu besonders nützlichen Erwerbungen ausgenützt werden.


Fig. 295. Extreme Formen von Brombeerblättern, welche bei der Kreuzung zweier Arten durch Luther Burbank erhalten wurden.

Fassen wir zur Illustrierung des Gesagten ein Beispiel näher ins Auge: die Entstehung der Giraffe. Dieses Tier gehört zu den Paarhufern oder Wiederkäuern und steht nicht nur durch die Bildung seiner Zähne, sondern auch durch die beiden, den Rosenstöcken der Hirsche vollkommen ensprechenden behaarten Knochenzapfen der Stirne in engeren Beziehungen zu den Geweihträgern als zu den Hornträgern. Noch sein naher Verwandter, das Helladotherium aus den obersten Miocänschichten von Pikermi in Griechenland, besaß außer den dreizackigen Hörnern über den Augen und der aufgetriebenen, dicken Schnauze dieselben übermäßig hochgestellten Beine an einem kurzen Körper mit hohem Widerrist und abschüssiger Kruppe wie der Elch. Diese engere Stammesverwandtschaft mit dem Elch prägt sich noch deutlicher an dem schwereren und massigeren Sivatherium aus den miocänen Schichten der Sivalikhügel Nordindiens aus, das, obschon es mit seinem 1 m langen Schädel und seinen fast 2 m langen Vorderbeinen viel größer als der Elch war, sogar bis auf seinen schaufelartigen, ausgezackten Kopfschmuck diesem durchaus glich. Nur fehlen den auch bei ihm doppelt ausgebildeten Stirnauswüchsen die Rosen; sie waren demnach keine richtigen Geweihe, die alljährlich nach der Brunstzeit abgeworfen wurden, sondern sind den Knochenzapfen der Giraffe gleichwertig. Auch diese

Digitized by Google

zeigt ja durch die kantigen Auftreibungen der Stirne noch unverkennbare Neigung zur Bildung von Hohlräumen und Auswüchsen am Schädel. Im Bau der Füße, denen Nebenzehen und ihnen entsprechende Nebenhufe vollständig fehlen, nähert sich die Giraffe mit ihren Verwandten wieder sehr manchen Antilopen.

Im Laufe der wenigstens 5 Millionen Jahre zählenden Miocänzeit ist die Giraffe aus dem Wiederkäuerstamme hervorgegangen als

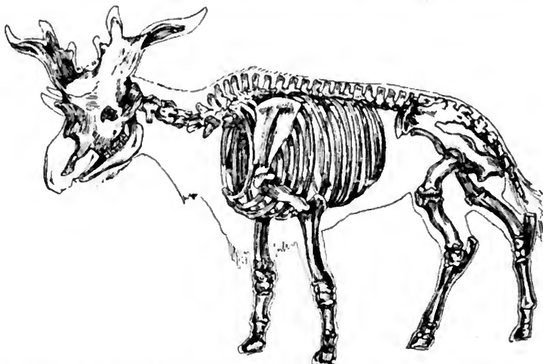


Fig. 295. Das Sivatherium giganteum, ein ausgestorbener riesiger Wiederkäuer aus der Verwandtschaft der Giraffen aus dem obern Miocän von Ostindien.

ein Produkt der Auslese und Naturzüchtung trockener, regenarmer Gebiete. Wie der Elch als Sumpfhirsch nordischer Gegenden auf seinen sehr hohen Läufen mit beinahe 2 m Schulterhöhe, aber kurzhalsig kaum je etwas Nahrung vom Boden aufnimmt, sondern fast ausschließlich von Sträuchern und jungen Bäumen, besonders Weiden, die Blätter, grünen Schößlinge und die Rinde äst, die er mit den sehr beweglichen, vorstreckbaren Lippen faßt, so hat sich eine dem Sivatherium verwandte elchartige Hirschantilope in der periodisch austrocknenden Steppe Afrikas an die Blätter der außerordentlich tiefwurzeligen Akazien halten müssen.

Wenn alle Pflanzen am Boden verdorrt waren, grünten diese einzig noch. Nun waren begreiflicherweise stets die etwas langhalsigeren Varietäten besser daran als die kurzhalsigen; denn sie ver-

Digitized by Google

mochten in Zeiten der Dürre noch Blätter und Zweige zu erreichen, die jenen unzugänglich waren. Alle die kurzhalsigen Formen starben aus, während jeweilen nur die langhalsigsten am Leben blieben. So ist mit der Zeit durch die natürliche Auslese als ein Zuchtprodukt des unerbittlichen Hungers das nach dem arabischen serafe, d. h. groß, erhaben genannte Tier hervorgegangen, dessen Schulterhöhe bei einer Rumpflänge von 2 m bereits 3 m beträgt und das darauf einen bei-

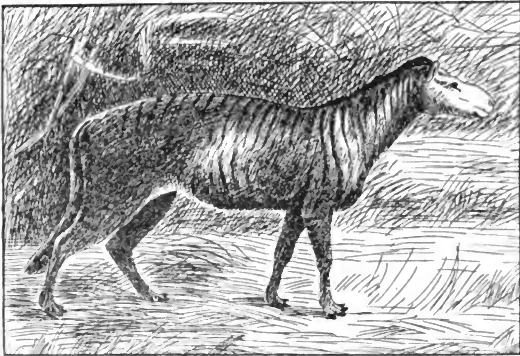


Fig. 297. Das vierzehige, etwa 40 cm hohe Urpferd Phenacodus aus dem ältesten Eocän. (Nach Knight.)

nahe ebenso langen Hals trägt, so daß sein Kopf sich gegen 6 m über den Erdboden erhebt. So vermag das Tier die höchsten Zweige der Giraffenakazie zu erlangen, die es mit seiner walzenförmigen, weit vorstreckbaren Zunge erfaßt und losreißt, wobei die sehr beweglichen, spitz zulaufenden Lippen wesentlich mithelfen. Wie alle Säugetiere hat auch die Giraffe nur sieben Halswirbel, aber diese sind gewaltig auseinander gezogen, während sie bei den Schwimmern, wie den gewaltigen Waltieren, denen möglichste Halslosigkeit erwünscht ist, auf ganz dünne Knochenscheiben zusammengedrückt wurden — natürlich ebenfalls durch Auslese; denn je enger der Hals und Rumpf mit einander starr wie beim Fische verbunden wurden, um so besser konnte das Tier schwimmen. So sind ebenfalls durch natürliche Auslese im Gegensatz zur Giraffe die langhalsigen Formen vollständig ausgemerzt worden

Digitized by Google

und nur noch die möglichst kurzhalsigen, ja heute geradezu halslosen Formen am Leben geblieben. Auf gleiche Weise sind alle Tierformen in ihren besonderen Eigenschaften nach und nach spezialisiert worden, wenn wir auch nur ausnahmsweise alle Übergänge der älteren in die jüngeren Formen nachweisen können, wie beispielsweise beim Pferde. Auch dieses Tier ist ein Züchtungsprodukt der austrocknenden Steppe, die nur diejenigen Formen am Leben ließ, die möglichst rasch zu laufen vermochten, nicht sowohl um den auf sie lauernden Raubtieren zu entfliehen, als von einer austrocknenden Quelle zu einer andern, die möglicherweise noch Wasser enthielt, zu gelangen. Deshalb ist auch bei den Pferden, wie bei allen Steppentieren, das Witterungsvermögen so unglaublich fein ausgebildet.

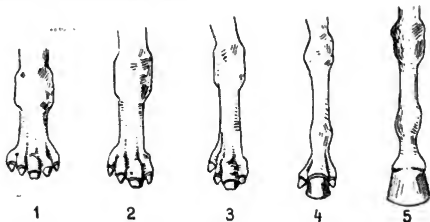


Fig. 298. Die nachweisbare Entwicklung des Pferdefußes vom Ende der Kreidezeit bis zur Gegenwart: 1 fünfzehiges Urpferd der obersten Kreide, 2 vierzehiges Urpferd des frühesten Eocäns, 3 dasjenige zu Ende des Eocäns, 4 zu Ende des Oligocäns, 5 in der Gegenwart. Neben der Reduktion der Zehen hat eine fortschreitende Verlängerung des Metacarpus beziehungsweise Metatarsus wie überhaupt des Gesamtbeines stattgefunden.

In Amerika, wo das Pferd doch bei der Ankunft der Europäer vollkommen ausgestorben war, sind seine Verwandten während der ganzen Tertiärzeit so überaus häufig gewesen, daß man an manchen Orten daselbst geradezu massenhafte Knochenüberreste derselben fand. Sie stellen nun eine so vollständige, fast lückenlose Entwicklungsreihe unter sich dar, daß die Entwicklungsgeschichte des Pferdestammes das schönste Schulbeispiel zur Illustrierung des Entwicklungsganges einer Tierart darstellt, das wir zur Zeit besitzen. Wahrscheinlich ist in der neuen wie in der alten Welt eine parallele Entwicklung des pferdehaften Einhufers aus dreizehigen Stammformen vor sich gegangen, in der neuen Welt starb aber das Produkt der Entwicklung vermutlich

Digitized by Google

an Verdurstung durch zunehmende Dürre aus, während es sich in der alten Welt bis auf den heutigen Tag am Leben zu erhalten vermochte.

Es ist nun einem der bedeutendsten amerikanischen Paläontologen, dem verstorbenen O. C. Marsh, der auf diesem Forschungsgebiete am erfolgreichsten tätig war, gelungen, nicht weniger als etwa 30 verschiedene, meist wie die Glieder einer Kette lückenlos aneinander schließende Pferdeformen aus den verschiedenen Tertiärschichten des heute zur toten Wüste gewordenen und deshalb mit Recht als Bad lands genannten, an Fossilien so reichen Gegend des nordamerikanischen Westens zu sammeln.

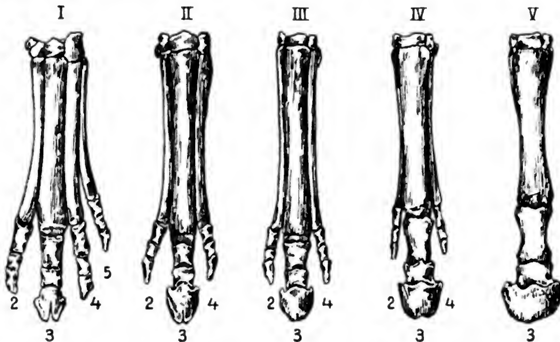


Fig. 299. Die vorliegenden Dokumente für den Nachweis der Entwicklung des Pferdefußes im Laufe der Tertiärzeit: I Hyracotherium, II Mesohippus, III Anchitherium (Miohippus), IV Hipparion, V Equus, d. h. Pferd der Gegenwart. Die Zahlen 2—5 bedeuten die Numerierung der Zehen.

Wie alle Anfangstypen haben auch die frühtertiären Pferdevorfahren nur eine sehr geringe Größe besessen. An der Wurzel des Pferdestammbaums steht das Urhuftier aus der ausgestorbenen Gruppe der Condylarthren, von Cope so genannt, Phenacodus primaevus, aus der untereocänen Wahsatchgruppe von Wyoming in Nordamerika. In jenen untereocänen Schichten des Puerco findet sich überhaupt die Urmischgruppe der placentalen Säugetiere, nach ihrem wichtigen Fundorte in den Puercoschichten in Wyoming meist nur kurz als Puercogruppe bezeichnet. Dieser Phenacodus, von dem Überreste auch in Europa gefunden wurden, war ein an allen Füßen fünfzehiges Tier,

Digitized by Google

aber kein Sohlengänger mehr, von der Größe eines Zickleins, nur mit viel niedrigeren Beinen und langem Schwanze. Das Gebiß weist wie bei allen Condylarthren 44 Zähne auf von einfachstem Höckertypus, die Oberarmknochen stehen in enger Verwandtschaft zu den Urraubtieren, während die Vorderarmknochen, besonders Hand- und Fußwurzeln, von Elefantencharakter sind. Wenn auch bei ihm Mittelhand- und Mittelfußknochen noch verhältnismäßig kurz sind, so sind sie doch sehr viel länger als bei den Elefanten; die erste und fünfte Zehe sind schon verkürzt und berühren den Boden nicht mehr, die mittlere oder dritte Zehe ist bereits entschieden die stärkste und bildet schon den Hauptpfeiler des Fußes. Hierin liegt der erste Anfang zur Einhufigkeit, zu der als raschestem Fortbewegungsmittel die Huftiere der Steppe neigen, während die Sumpf- und Waldbewohner, die sich vor dem Einsinken in morastigen, feuchten Boden schützen mußten, aus diesem Grunde eine Paarhufigkeit auszubilden bestrebt sind.

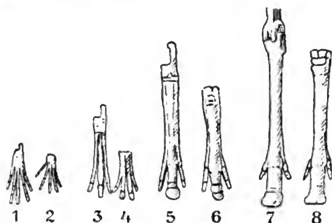


Fig. 300. Die wichtigsten geologisch festgestellten Etappen der Entwicklung des Pferdefußes während der Tertiärzeit. 1 und 2 Vorder- und Hinterfuß des untereocänen Phenacodus, 3 und 4 dieselben vom mitteleocänen Hyracotherium, 5 und 6 dieselben vom oligocänen Mesohippus, 7 und 8 dieselben vom miocänen Protohippus.

Viel weiter in der Richtung der Einhufigkeit als Anpassung an die Steppe spezialisiert als Phenacodus ist das Hyracotherium aus dem mittleren Eocän, etwas größer als jenes, mit ebenfalls 44 Zähnen, von denen nur noch die Backenzähne einen ziemlich kräftigen Höckerbau auf den Jochen zeigen, und nunmehr nur noch vier Zehen am Vorder- und sogar bloß drei am Hinterfuß. Von diesem, das dem Eohippus nahestand, zweigten dann die Tapire ab.

Ein weiterer Fortschritt zum einhufigen Säulenfüßler zeigt das schon über ziegengroße Mesohippus des Oligocäns, an welchem die erste Zehe des Vorderfußes ganz rudimentär geworden ist, damit also an beiden Füßen nur noch 3 Zehen — und zwar die 2., 3. und 4. — vorhanden sind, und die Elle und das Wadenbein noch verhältnismäßig gut ausgebildet sind. Bei ihm sind schon zwei Lückenzähne den Backen-

Digitized by Google

zähnen gleich geworden. Von diesem Mesohippus zweigten in der Folge die Nashörner ab. Dann haben wir im untern Miocän in der neuen Welt das Miohippus und in der alten das ihm entsprechende Anchitherium. Bei ihm sind die drei Zehen jedes Fußes noch annähernd gleich lang, auch ist noch ein Rudiment der ersten Zehe im Vorderfuße vorhanden. Die Elle ist mit der Speiche verwachsen und das Wadenbein hat sich fadenförmig verdünnt und verkürzt, da es vollkommen außer Gebrauch gestellt war. Noch im Miocän besaß der Ahne des Pferdes, der bereits die Größe des Esels erreicht hatte, drei



Das heutige Pferd.



Protohippus im Miocän.



Mesohippus im Oligocän.



Hyracotherium im mittleren Eocän.



Phenacodus im untern Eocän.

Fig. 301. Die successive Größenzunahme im Pferdestamm im Laufe von etwa 14 Millionen Jahren, d. h. vom ältesten Eocän bis zur Gegenwart.

Zehen an jedem Fuße, aber nur die mittelste von ihnen, nämlich die dritte, die dem Gliede des Einhufers entspricht, berührte den Boden, Elle und Wadenbein waren noch kleiner, die Backenzähne dagegen größer und weiter raspelartig gefaltet ausgebildet worden. Diesem Protohippus der neuen Welt stand das Hipparion der alten Welt sehr nahe, dessen Knochen wir bereits mit rohen menschlichen Steinwerkzeugen zusammen antreffen. Im Pliocän begegnen wir der letzten Stufe vor Erreichung des rechten Pferdes, der Gattung Pliohippus, die schon

Digitized by Google

die beiden äußeren Afterzehen an allen Füßen verloren hatte, eine noch weitere Verkleinerung von Elle und Wadenbein und größere Zähne, auch in anderen Beziehungen sehr große Pferdeähnlichkeit aufwies. Erst in den obersten Pliocänschichten ist durch noch weitergehende Durchführung der Säulenfüßigkeit und anderweitige Spezialisierung das eigentliche einhufige Pferd, wie wir es heute noch lebend kennen, entstanden, bei dem auch rein nichts mehr, nicht einmal eine Spur von Afterhufen, an seinen vielzehigen Ursprung erinnert.

Noch beim Wildpferd der zweiten Hälfte der letzten Zwischeneiszeit, von dem man an der Lagerstelle des diluvialen Lößjägers von Solutré im Rhonetal nördlich von Lyon die Knochen von etwa 40000 erbeuteten Individuen in allen Lebensaltern bei einander fand, war die jetzt bei der Mehrzahl aller Pferde frühzeitig eintretende Verschmelzung der rudimentären seitlichen Mittelhandknochen mit dem Hauptmittelhandknochen noch nicht vorhanden, wie auch beim diluvialen Equus stenonis, dem unmittelbaren Vorgänger unserer europäischen Pferde. Auch das zweite und dritte Keilbein der Hand- und Fußwurzel, die zur Diluvialzeit noch stets getrennt waren, sind heute fast immer verwachsen als Beweis einer noch weiter durchgeführten Säulenfüßigkeit. Und wo sie noch nicht vorhanden ist, tritt sie bei der Heilung des sogenannten Spates, dieser so häufigen Krankheit unserer Dienstpferde, ein. Diese als Ankylose bezeichnete gegenseitige Verwachsung der Fußwurzelknochen suchen die Besitzer spatkranker Pferde durch Steigerung der Entzündung am Sprunggelenk zu befördern, weil das Pferd nach dieser Verwachsung seine Hinterfüße wieder gebrauchen kann. Bei 25 aufeinanderfolgenden Untersuchungen des gesamten Pferdematerials der Kavallerieschule in Saumur fand Joly in neun Fällen sämtliche Knochen am Sprunggelenk miteinander verwachsen. Diese den anhaltenden Gebrauch der Füße erleichternde Verwachsung scheint auch ohne vorausgegangene Entzündung als natürlicher Vorgang zu erfolgen. Diese durch die Domestikation beschleunigte Fortsetzung des Naturprozesses wird schließlich zu einer Überspezialisierung des Pferdes, das heute weitaus der beste Renner unter allen Tieren ist, führen und damit ist sein Schicksal besiegelt; denn alle überspezialisierten Formen sind bei Veränderungen der Lebensbedingungen nicht mehr im stande, sich diesen anzupassen, und gehen unter. Nur in der Pflege des Menschen kann sich ein solches überspezialisiertes Tier wie das Pferd der Zukunft am Leben erhalten; im Freileben müßte es sicher zugrunde gehen, was vermutlich den Untergang der Pferdegattung in Amerika mitverschuldet hat.

Digitized by Google

Erst wenn wir diese Geschichte des Pferdestammes kennen, wenn wir wissen, daß dieser Einhufer aus mehrhufigen, ja ursprünglich, wie alle Wirbeltiere, fünfzehigen Formen hervorging, begreifen wir, weshalb als sogenannte atavistische Erscheinungen, d. h. Rückschläge in frühere Daseinszustände zur großen Seltenheit auch noch bei unserm Pferde Individuen auftreten, welche an den Vorder- oder Hinterfüßen, oder an beiden zugleich, je eine oder auch zwei schwache Seitenzehen aufweisen, wie sie die alte Stammform Mesohippus noch normalerweise besaß.

Ähnliche Entwicklungsreihen wie für die Pferdegruppe vermochte man auch für andere Säugetiergruppen aufzustellen, wie beispielsweise für die Kameliden und Nashörner. So liefert uns die Paläontologie eine Unmenge von Zeugnissen dafür, daß sich alle Pflanzen und Tiere im Laufe der erdgeschichtlichen Entwicklung aus einfacheren Formen herausgebildet haben, wie uns die Geologie handgreiflich lehrt, daß in je ältere geologische Formationen wir gelangen, desto niedriger die höchst organisierten Lebewesen waren. Schon die geologische Entwicklungsreihe der Organismen zwingt uns mit Notwendigkeit die Abstammungslehre auf, so überaus lückenhaft auch unsere Erkenntnis derselben zur Zeit noch sein mag. Ist es doch an sich schon eine große Ausnahme, daß vergängliche tierische und pflanzliche Überreste uns in den Schichtgesteinen der Erdrinde erhalten blieben. Und werden auch einmal solche gefunden, so muß schon ein guter Zufall mitspielen, wenn Leute, die dafür Interesse haben und davon etwas verstehen, gerade dazu kommen und die betreffenden, meist ganz unscheinbaren Dokumente für die Wissenschaft retten. Denken wir an alle diese Zufälligkeiten, die eintreffen müssen, um einen Fund fossiler Knochen oder Schalen der wissenschaftlichen Forschung zugänglich zu machen, so müssen wir uns wirklich wundern, daß wir tatsächlich schon so viel unzweideutig sichergestellte Dokumente von den einst auf der Erde vorhanden gewesenen Lebewesen besitzen, um so mehr als ja bisher nur ein äußerst geringer Teil der uns zugänglichen Erdoberfläche wissenschaftlich daraufhin untersucht wurde.

Aber ganz abgesehen von den überzeugenden Beweisen, die die Geologie und Paläontologie für die Abstammungslehre liefern in Form von Versteigerungen aller Art, die sich im allgemeinen nur erhalten konnten, wenn sie sofort mit Schlamm und Sand zugedeckt wurden, spricht schon die natürliche Verwandtschaft der Pflanzen und Tiere

Digitized by Google

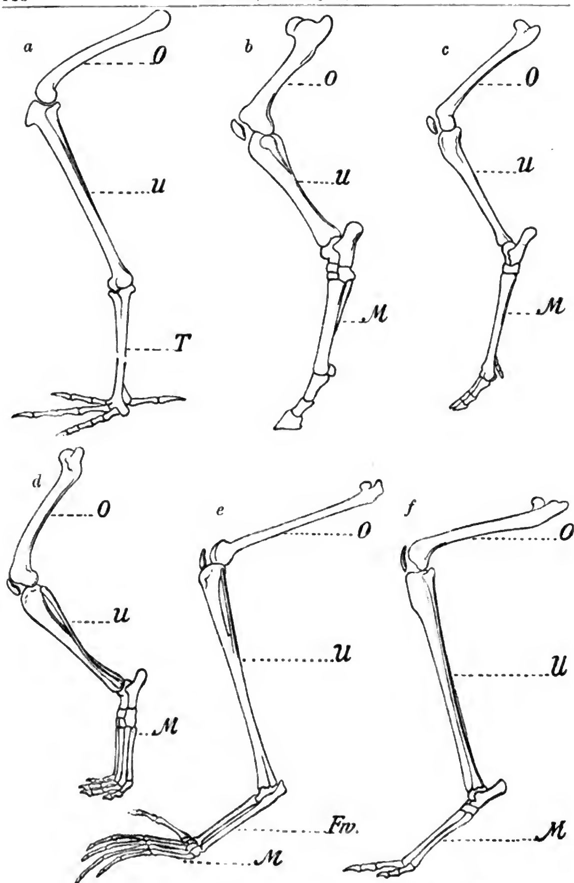


Fig. 302. Linke hintere Extremität a eines Vogels, b vom Pferd, c vom Reh, d vom Hund, e vom Koboldmaki, f vom Känguru. O Oberarm, U Unterarm, Fw Fußwurzel, T Laufknochen, M Mittelfuß. (Nach Pauly.)

Digitized by Google

untereinander im Sinne einer Entwicklung, daß nämlich die höheren Formen sich aus niedrigeren herausspezialisierten. Diese eigenartige Verknüpfung der Tierformen ist die wichtigste Grundlage der Abstammungs- oder Entwicklungslehre; die natürliche Verwandtschaft ist ohne letztere sinnlos und unverständlich. Auch die Art und Weise, in welcher alle Lebewesen untereinander verkettet sind, ist eben diejenige, welche von der Theorie gefordert wird. Im gleichen Sinne sprechen zugunsten der Abstammungslehre auch alle übrigen Tatsachen, die uns die vergleichende Anatomie, die Embryologie und Tiergeographie in großer Zahl vor Augen führen.

Wer überhaupt den Bau der Pflanzen und Tiere und die Entwicklung derselben studiert, wer die Lebewesen untereinander vergleicht, der findet überall Verhältnisse, die nur vom Standpunkte der Abstammungslehre verständlich sind. Wir sehen da, daß bei den verschiedenen

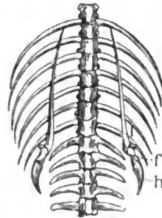


Fig. 303. Beckenregion einer Riesenschlange, Python, mit den Rudimenten der hintern Extremitäten. Diese, die ihre Vorfahren einst, ebenso wie auch die vorderen, gut ausgebildet besaßen, wurden bei den zum Kriechen übergegangenen Nachkommen infolge des Nichtgebrauches bis auf diese winzigen Überreste zurückgebildet, während die vorderen als früher beseitigt spurlos verschwunden sind. Vom Beckengürtel ist nur das Darmbein i (ileum) noch stärker angelegt, dagegen ist der Oberschenkel f (femur) schon stark verkürzt und an ihm ragen die Hinterfußstummel h als zwei hornige Klauen links und rechts von der Afteröffnung hervor.

Gruppen der Lebewesen Organe vorhanden sind, die, obschon sie eine höchst verschiedene Funktion haben, dennoch nach demselben Bauplan geprägt sind. So sind beispielsweise die Mundteile einer Heuschrecke und Wanze nachweisbar in den großen Zügen nach demselben Grundplane gebaut: Ober- und Unterlippe, Vorder- und Mittelkiefer sind bei beiden gleicherweise vorhanden, obschon die den Mundteilen gestellten Aufgaben vollkommen verschieden sind, indem sie bei der ersteren einen Beißapparat zum Pflücken der pflanzlichen Nahrung, bei der letzteren dagegen ein Saugwerkzeug mit Bohrapparat zum Stechen und Aufsaugen der aus Blut eines Warmblüters bestehenden Nahrung bildet. Die zur Erklärung dieser Tatsache einzig in Frage kommende Ursache ist die, daß beide von einer Stammform mit denselben kauenden Mundwerkzeugen abstammen müssen, die sich bei der ersteren Form als solche erhielt, bei der letzteren dagegen der neuen Ernährungsweise

Digitized by Google

vollständig angepaßt wurde. So sehen wir auch die Vordergliedmaßen eines Hundes, eines Wales, einer Fledermaus, obgleich sie ganz verschiedenen Zwecken dienen, trotzdem im Knochenbau denselben Grundplan darbieten. Wären sie ganz unabhängig von einander entstanden, so müßte ein jedes derselben seinen besonderen Stempel tragen. Die

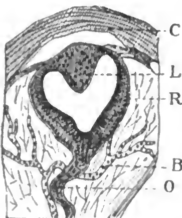


Fig. 304. Längsschnitt durch das dritte, Stirn- oder Scheitelauge der neuseeländischen Brückenechse Hatteria punctata. Dieses auf einigen kleinen Inseln der Umgebung von Neuseeland in Höhlen friedlich mit Sturmvögeln und Sturmtauchern zusammenlebende bis halbmeterlange, dickleibige, olivengrüne, mit gelben und weißen Tüpfeln übersäete und wegen seines Rückenkammes einem Leguan ähnliche Tier, die Tuatera der Neuseeländer, ist der einzige noch existierende Vertreter der zur Permzeit als damals höchste Tiergruppe herrschenden Urreptile. Es sei hier nur an die Palaeohatteria des Rotliegenden erinnert. Das Tier bietet als lebendes Fossil sehr zahlreiche altertümliche Merkmale dar, die bei den heute lebenden Echsen nicht mehr vorkommen, aber bei ihren paläozoischen Ahnen regelmäßig ausgebildet wurden, so ein System von Bauchrippen, deren jede aus einem Mittelstück und zwei Seitenstücken besteht und von Bauchschildern bedeckt wird. Das Quadratbein ist unbeweglich am Kiefergelenk mit dem Schädel verwachsen, Trommelfell und Paukenhöhle fehlen, das Becken ist überaus altertümlich und — was das merkwürdigste ist — es besteht bei ihm außer den beiden regelrechten Augen oben auf dem Kopfe unter dem Scheitelloch noch ein rudimentäres drittes Auge, das als unpaares Scheitelauge bei den Fischen, Amphibien und Reptilien der paläozoischen Zeit eine große Rolle spielte, bei den meisten Wirbeltieren der mesozoischen Zeit jedoch stark zurückgebildet wurde, bis sich selbst das von ihm herrührende kleine Loch im Schädel bei den höchsten Vertretern derselben ganz schloß. Außer bei Hatteria finden sich Spuren eines solchen Scheitelauges mit deutlicher Linse, Netzhaut, Pigmentschicht und zuführendem Sehnerv noch bei den Embryonen unserer gemeinen Eidechsen, der Warane, d. h. der großen, langgestreckten Eidechsen der östlichen Erdhälfte, namentlich Afrikas, Südasiens, Australiens und Ozeaniens, und der Blindschleichen. C bedeutet in dieser Figur Hornhaut, L Linse, R Netzhaut mit dem Pigment, O Sehnerv und B Blutgefäße. (Schwach vergrößert.)

Ähnlichkeit derselben können sie ausschließlich einem gemeinsamen Ursprunge verdanken. Und so ist es überall in der gesamten organischen Welt.

Neben den zahlreichen Organen, die ganz deutlich Werkzeuge mit bestimmten Funktionen darstellen, findet man hin und wieder solche, die ohne jegliche Bedeutung für das betreffende Lebewesen sind.

Digitized by Google

Man bezeichnet diese als **rudimentäre Organe**. Solche sind beispielsweise die Überreste einer ursprünglich der Insektenbestäubung dienenden Blüte bei Pflanzen, die zur Windbestäubung zurückgingen, Rudimente des Beckens und von hinteren Gliedmaßen bei Schlangen, das Vorhandensein von Femur und Tibia, d. h. Ober- und Unterschenkelbein, bei den Walen, Tierarten also, die durchaus keine solche Extremitäten mehr besitzen, aber von Tieren abstammen müssen, die einst solche besaßen und sich ihrer regelmäßig bedienten. Dahin gehören ferner die rudimentären Milchzähne der Bartenwale und des Schnabeltiers, die Eckzähne der Hirscharten, die überhaupt nicht mehr die Schleimhaut durchbrechen, die Stirnaugen mancher Reptilembryonen, die Augen der erblindeten Höhlenbewohner und Tiefseetiere, die winzigen Flügel der flugunfähig gewordenen Vögel und Schmetterlingsweibchen, der Wurmfortsatz des Menschen wie auch das Darwinsche Knötchen an seinem Ohre als letzter Rest des äffischen Spitzohrs, die der Bewegung der Ohren und der Körperhaut dienenden Muskeln bei ihm und zahllose andere Erscheinungen, die auch nur anzuführen uns zuweit führen würde. Alle diese Erscheinungen mußten in früherer Zeit ganz unverständlich bleiben und in offenem Widerspruch zu den höchst zweckmäßigen Einrichtungen stehen, die man sonst überall in der Natur findet. Vom Standpunkte der Abstammungslehre dagegen sind sie leicht zu deuten und ganz selbstverständlich. Kriechende und schwimmende Tiere, die der Beine nicht mehr bedurften, legten sie einfach mit der Zeit als für sie überflüssig ab; aber die im Körper verborgenen Überreste derselben behielten sie trotzdem noch als altererbtes Andenken an frühere Daseinszustände, an Ahnen, die sich dieser Organe noch regelrecht bedienten. Und auf ähnliche Weise lassen sich ohne Mühe alle rudimentären Organe erklären.



Fig. 305. Das sogenannte Darwinsche Knötchen am menschlichen Ohr als Rest der Spitze des Tierohres.

Wie die einzelnen Organe ihre Geschichte haben, so hat das einzelne Individuum eine solche. Alle Vielzeller beginnen, wie wir sahen, ihr Dasein als Einzeller im Ei, und indem dieses Ei nach seiner Befruchtung in immer zahlreichere Tochterzellen zerfällt, die in gegenseitigem Zusammenhange bleiben und in zunehmender Differenzierung und Arbeitsteilung sich zu den verschiedenen Organen entwickeln, wird

Digitized by Google

bei den Pflanzen stets wieder die flächenhafte Ausbreitung in einem, den ältesten metameren Pflanzen ähnlichen Thallus, dem Prothallium, gebildet, mit stets wieder erzeugten Archegonien und Antheridien, sobald die Befruchtung als Regel der Lebenserneuerung eingeführt wurde, bei den Tieren dagegen die Bildung der Morula als Furchungskugel, der Gastrula als Urmundtier, usw. in der Entwicklung jedes einzelnen Individuums wiederholt. Während die niederen Tiere zeitlebens nicht über das Gastrulastadium hinauskommen, entwickeln sich die höheren weiter zum wurmähnlichen Wesen, dann zum kiementragenden Fisch, zum mit Lungen atmenden und vier Gliedmaßen aufweisenden Wirbeltier. Je weiter nun die Spezialisierung bei einem Lebewesen ging, um so beschränkter wurde dann später die Übereinstimmung in der Entwicklung der verschiedenen Organe. Während beispielsweise auf einer gewissen Stufe der Embryonalentwicklung zwischen Säugetier- und Vogelembryonen als Reptilabkömmlingen eine so große Ähnlichkeit besteht, daß es selbst dem geübtesten Forscher unmöglich ist, beide von einander zu unterscheiden, so ist dies auf einer späteren Stufe leicht möglich; aber noch sehr lange lassen sich die Embryonen der verschiedenen Säugetiere kaum von einander unterscheiden, wenn auch der Unterschied mit dem Vogel offenbar geworden ist. Noch zwischen den neugeborenen Jungen später recht verschieden aussehender Tiere kann manchmal eine so außerordentliche Ähnlichkeit bestehen, daß beide mit dem besten Willen nicht von einander unterschieden werden können. So ist das Junge einer Ratte demjenigen eines Kaninchens als Beweis gemeinsamer Ahnen überaus ähnlich, während die erwachsenen Tiere bekanntlich sehr verschieden von einander sind.

Die Ursache dieser Erscheinung ist ganz einfach die, daß die Variation, d. h. also die den Lebewesen innewohnende Fähigkeit, kleine Verschiedenheiten auszubilden, sich nach und nach zu großen Unterschieden kumultiert, so daß die ganz ungeheure, fast unübersehbare Mannigfaltigkeit der Pflanzen- und Tierformen sich im Laufe der erdgeschichtlichen Entwicklung als Naturnotwendigkeit bilden mußte. Daß nun diese Unterschiede sich bei den frühen Entwicklungsstufen in weit geringerem Grade als bei den späteren geltend machen, das ist eben darauf zurückzuführen, daß die Pflanzen und Tiere im Embryonalzustand umändernden äußeren Einwirkungen sehr viel weniger ausgesetzt sind als später. Sobald die Embryonalentwicklung aufhört und das betreffende Lebewesen ein selbständiges Leben zu führen beginnt, wird der Unterschied gewöhnlich hervortretender, und in nicht wenigen Fällen

Digitized by Google

können sogar größere Unterschiede zwischen Jugendstadien zweier Pflanzen oder Tiere als zwischen den erwachsenen Individuen derselben vorhanden sein. Besonders gilt dies dann, wenn der Unterschied in der Lebensweise zwischen den unentwickelten jungen Formen größer ist als zwischen den entwickelten. So besteht z. B. zweifellos ein größerer Unterschied zwischen den Larven eines Bockkäfers und eines Blattkäfers als zwischen dem ausgebildeten Bock- und dem Blattkäfer, was einfach darin begründet liegt, daß der Unterschied der Lebensweise der Larven weitaus größer ist als derjenige der ausgebildeten Tiere.

Wenn die Lebensverhältnisse in der Jugend einigermaßen dieselben sind, können die Larven manchmal eine überraschende Übereinstimmung bei sonst sehr verschiedenen Gruppen innerhalb derselben Abteilung darbieten. Die Crustaceen oder Krebstiere sind eine der reichsten und mannigfaltigsten Tiergruppen, die es gibt. Sie zerfällt in eine Anzahl sehr verschiedener Unterabteilungen. Zahlreiche dieser im erwachsenen Zustande höchst verschiedenartigen Tiere, wie gewisse Garneelen, Copepoden oder Spaltfüßler, Schmarotzerkrebse usw. durchlaufen das sogen. Naupliusstadium, das dadurch charakterisiert ist, daß der noch ungegliederte Körper nur drei Paar Anhänge, nämlich die späteren Antennen oder Fühler und die Vorderkiefer trägt und von Augen nur das sogenannte Stirnauge besitzt. Der Nauplius schwimmt vermittelst der genannten, ihm zur Bewegung dienenden Anhänge frei umher. Daß diese gleichartig ausgebildete Larvenform bei so verschiedenartigen Tieren auftritt, ist für die Abstammungslehre leicht verständlich. Alle Krebstiere, mögen sie noch so sehr differenziert oder als Schmarotzer zurückgebildet sein, stammen von einer Form ab, die eben eine solche Larve besaß, und letztere hat sich nachher auf diejenigen Krustaceen vererbt, die in der Jetztzeit einen Nauplius besitzen.

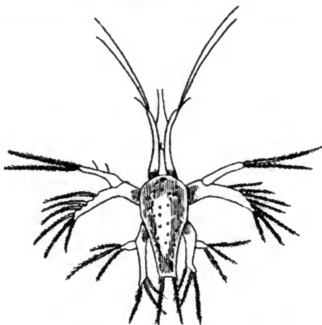


Fig. 306. Naupliusstadium der Krebsart Penaeus. (Stark vergrößert.)

Digitized by Google

Dieser Nauplius wächst allmählich in die Länge, die nachfolgenden Gliedmaßen sprossen hervor, und nach einer Reihe mit Häutungen verbundener Umgestaltungen des Körpers erreicht das Krebschen schließlich seine definitive Gestalt.

Es ist aber von hohem Interesse, daß keineswegs alle Krebstiere das Ei als Nauplius verlassen. Bei manchen hat das Ei eine bedeutendere Größe erlangt, indem ihm viel mehr Dotter als bei den altertümlicheren, niedrigeren Formen als Reservenahrungsstoff mitgegeben wurde. Dadurch vermochte sich der Embryo schon im Ei weiter zu entwickeln und eine höhere Ausbildungsstufe zu erlangen, bevor er sein aktives Leben auf eigene Faust begann. So beginnt bei der Mehrzahl der höheren Krebse, den Dekapoden oder Zehnfüßlern, wie z. B. bei den Garneelen, das selbständig lebende und frei umherschwimmende Jugendstadium weit ausgebildeter und mit einer größeren Anzahl von Gliedmaßen ausgestattet als sogenannte Zoëa. Dieser Name rührt, wie übrigens auch derjenige des Nauplius, daher, daß eben früher, als man die tatsächlichen Verhältnisse noch nicht kannte, diese Formen als vollständig ausgebildete Tiere aufgefaßt und unter den Gattungsnamen Zoëa und Nauplius beschrieben wurden. Erst später, als man den Irrtum erkannte, und einsah, daß man es in diesen Fällen nur mit verschiedenen Larvenzuständen von Krebstieren zu tun hatte, die im erwachsenen Zustande ganz anders aussehen, gab man diese Namen den betreffenden Entwicklungsstufen. In diesem gegenüber dem Nauplius höheren Zoëastadium, in welchem die Mehrzahl der Dekapoden das Ei verläßt, bewegt sich die Krebslarve vermittelst der später als Kieferfüße ausgebildeten Anhänge fort, die auf dieser Entwicklungsstufe noch nicht, wie später, der Ernährung dienen, sondern als Schwimmwerkzeuge fungieren; namentlich sind es ihre Außenäste, vermittelst deren das Schwimmen ausgeführt wird. Die Zoëa ist ferner mit Stirn- und Seitenaugen, mit den beiden Antennen- und den drei Kieferpaaren ausgestattet, auch das die Brust deckende Schild ist noch vorhanden, dagegen fehlen die Brust- und Schwanzfüße oder sind nur als kleine Anlagen vorhanden, wie auch der hintere Teil des Rumpfes und der Schwanz noch nicht so stark wie später

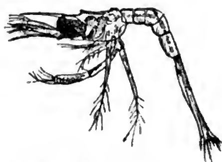


Fig 307. Zoëastadium einer Garneele von der linken Seite mit Stirnstachel. (Ziemlich vergrößert.)

Digitized by Google

entwickelt sind. Diejenigen Formen, die das Ei als Nauplien verlassen, durchlaufen später gleicherweise das Zoëastadium.

Auf das Zoëastadium folgt bei manchen Dekapoden das Mysisstadium, so genannt wegen der Ähnlichkeit mit der ausgebildeten Mysis, in welchem die Brustfüße ausgebildet sind und das Tier sich vermittelst der Außenäste dieser und der hintern Kieferfüße schwimmend fortbewegt; dabei sind die Schwanzfüße noch nicht oder nur ganz unvollkommen entwickelt. Nach dem Mysisstadium tritt das Tier in das Garneelenstadium ein, in welchem die Außenäste der Brustfüße verschwunden sind, während die Schwanzfüße stark entwickelt sind und als kräftige Schwimmwerkzeuge fungieren, vermittelst deren sich das Tier, das noch auf dieser, wie auf den vorhergehenden Stufen zu seinem Schutze ganz oder fast durchsichtig ist, in den oberen Wasserschichten fortbewegt. Für die eine Hauptabteilung der Dekapoden, die Garneelen, fällt das Garneelenstadium mit der Stufe des erwachsenen Tieres zusammen. Sie überschreiten diese nicht, sondern bleiben zeitlebens in demselben, bei ihnen sind die Schwanzfüße bleibend Schwimmwerkzeuge usw. Bei der andern Hauptabteilung, den kriechenden Dekapoden dagegen ist das Garneelenstadium kein bleibendes, sondern nach einiger Zeit werden die Schwanzfüße — mit Ausnahme des sechsten Paares — zurückgebildet, sie hören auf Schwimmwerkzeuge zu sein, das Tier wird undurchsichtig, indem es sich mit einem starren Kalkpanzer umgibt und ihm geht nun als vollständig entwickelt ein eigentliches Schwimmvermögen ab. Bei einigen Dekapoden, die ihre Eier noch besser mit Nahrungsdotter als die bisher erwähnten Formen ausstatten, verläßt die Larve das Ei erst im Mysisstadium; sie durchlaufen also nur dieses und das Garneelenstadium. Andere, wie z. B. die Krabben, gehen vom Zoëastadium direkt in das Garneelenstadium über, überspringen demnach das Mysisstadium, d. h. sie sind auf keiner Stufe mit einem Schwimmast an den Brustfüßen ausgestattet.

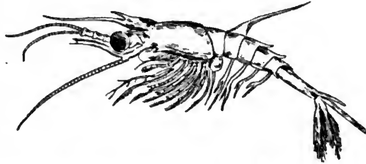


Fig 308. Mysisstadium des Krebses Penaeus (vergrößert).

Ähnliche Verhältnisse wie bei den Crustaceen findet man auch z. B. bei den Mollusken oder Weichtieren, bei denen ebenfalls gemeinsame

Digitized by Google

Larvenformen als Spiegelbilder gemeinsamer Ahnenstadien auftreten. Bei allen bewegen sich die neugeborenen Larven vermittelst Wimperschnüren, meist am vordern Teil des Körpers mit Augen versehen, freischwimmend dahin. Bei manchen, wie bei denjenigen der Kiemenschnecken, besitzen sie in der Regel ein wohlentwickeltes Schwimmsegel, mit Hilfe dessen sie sich im Wasser umherbewegen, während der Fuß dagegen noch sehr schwach entwickelt ist. Bei den Brachiopoden, denen die lebenden und fossilen Terebrateln usw. angehören, zerfällt der Körper der ebenfalls mit Wimpern frei umherschwimmenden Larven bisweilen in mehrere segmentähnliche Abschnitte. Am vorderen Ende können Augen, weiter hinten provisorische Borstenbündel, ähnlich wie

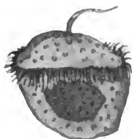
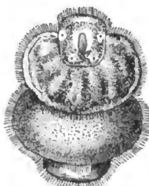


Fig. 309. Junge, noch schalenlose Larve der das Meer bewohnenden Herzmuschel. (Stark vergrößert).





I II

Fig. 310. Larven zweier Brachiopoden oder Armfüßler, die frei an der Meeresoberfläche herumschwimmen, um später, nachdem sie Schalen gebildet haben, die sie herabziehen, am Meeresgrund, in größeren Tiefen zu leben. (Stark vergrößert).

bei den Borstenwürmern, u. a. m. vorhanden sein. Diese Larven der Borstenwürmer sind auch stets freischwimmende, mit Wimperhaaren ausgestattete Tiere. Bei einigen ist, wie in Fig. 311 I das Wimperkleid gleichmäßig über den ganzen Körper verbreitet; bei andern findet sich wie in Fig. 310 II ein starker Wimperkranz an dem oft scheibenförmig verbreiterten Vorderende, und außerdem gewöhnlich noch am Hinterende, oder es ist eine größere Anzahl von Wimperreifen wie in Fig. 311 II u. 312 vorhanden, usw. Der Larvenkörper ist anfangs kurz, Borstenfüße sind anfangs keine oder doch nur wenige vorhanden. Dann streckt er sich etwas in die Länge, teilt sich in einige wenige, mit Borstenfüßen ausgestattete Segmente; allmählich nimmt die Länge zu, dementsprechend steigt die Anzahl der Segmente und Borstenfüße, bis schließlich das fertige Tier vorhanden ist. Zuweilen sind bei Formen,

Digitized by Google

denen im erwachsenen Zustande Augen und Gehörblasen fehlen, solche im Larvenzustande vorhanden. Alle diese Tiere stammen also von einander ähnlichen freischwimmenden Vorfahren ab, deren einstiges Vorhandensein sich für uns allerdings nur noch in den Larvenzuständen kundgibt.

Ebenfalls von größtem Interesse ist die Erscheinung, daß sich während der Entwicklung bisweilen Strukturen ausbilden, welche für das betreffende Tier ohne Bedeutung sind und auch wieder verschwinden, welche aber Verhältnissen entsprechen, die bei andern, nahe verwandten Tieren eine wirkliche Bedeutung besitzen. Wie in den

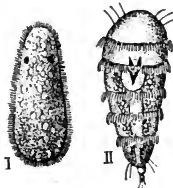


Fig. 311. Zwei pelagisch schwimmende Larven von Borstenwürmern I Nereis diversicolor mit gleichmäßigem Wimperkleid, II Ophryotrocha puerilis mit mehreren Wimperkränzen. (Stark vergrößert.)

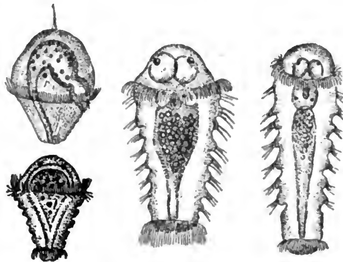


Fig. 312. Verschiedene Entwicklungsstufen des Borstenwurms Nepthys scolopendroides mit zuerst einem und später zwei Wimperreifen. (Stark vergrößert.)

Kiefern der Bartenwale, des Schnabeltiers und anderer im erwachsenen Zustande zahnloser Tiere Zähne angelegt werden, die niemals in Funktion treten, sondern später wieder als bedeutungslose Erbstücke resorbiert werden, so wird bei allen Wirbeltieren bis hinauf zum Menschen hinten am Kopf jederzeit eine Reihe von Spalten angelegt, die von der Mundhöhle bis an die Oberfläche gehen. Bei den Fischen und den Amphibien, so lange sie im Wasser leben, werden sie zu den Kiemenspalten, bei den andern dagegen schließen sie sich wieder, ohne jemals in Funktion getreten zu sein. Wie nun jene Zahnanlagen der Zahnlosen mit Sicherheit beweisen, daß sie von einst bezahnten Formen abstammen, so deuten diese Kiemenspalten mit Sicherheit darauf, daß die höheren stets lungenatmenden Wirbeltiere von niedrigeren kiemen-

Digitized by Google

atmenden abstammen. Ohne eine solche Annahme wäre diese Erscheinung überhaupt nicht zu erklären. Auch das ganze Blutgefäßsystem dieser lungenatmenden Wirbeltiere wird stets so angelegt, als ob Kiemen ausgebildet würden; erst im Laufe der späteren Embryonalbildung wird beim Jungen die definitive Gestalt, die für das erwachsene Stadium Geltung hat, ausgebildet. Nie wird weder bei der Pflanzen- noch bei der Tierentwicklung die höhere Gestalt und Organisation direkt erreicht, sondern nur auf Umwegen, über niedrigere Zustände. Jedes Lebewesen, sei es Pflanze oder Tier, gibt in seiner Einzelentwicklung (Ontogenie) eine kurze Wiederholung der Stammesgeschichte (Phylogenie) wieder, es gibt zuerst das Aussehen seiner ältesten und dann immer jüngerer Ahnen wieder, bis es zuletzt die höchste Stufe erreicht hat. Man bezeichnet dieses von Prof. Ernst Häckel in Jena zuerst aufgestellte grundlegende Gesetz der Embryologie das biogenetische Grundgesetz.

Außer der Einzelentwicklung gibt auch die Lehre von der Verbreitung der Pflanzen und Tiere, die Pflanzen- und Tiergeographie, eine wertvolle Stütze für die Abstammungslehre. Es ist ja eine allgemein bekannte Erfahrungstatsache, daß die verschiedenen Pflanzen und Tiere nicht gleichmäßig die verschiedenen Länder und Meere bewohnen, auch wenn sie ähnliche klimatische Verhältnisse aufweisen, sondern sich auf gewisse Regionen beschränken. Vergleicht man beispielsweise die Tierwelt von Südamerika, Afrika und Australien miteinander — von der Pflanzenwelt wollen wir hier, weil sie der großen Menge viel weniger bekannt ist, ganz absehen — so sind die Unterschiede trotz vielfach ähnlicher Lebensbedingungen sehr auffallend. Australien beherbergt weitaus die altertümlichste Tierwelt, abgesehen von sonst ausgestorbenen Reptilien wie Hatteria auf Neuseeland und dem Lurchfische Ceratodus in Queensland, die einzigen heute noch lebenden Kloakentiere und sonst, außer einer Anzahl durch die Luft eingewanderter Fledermäuse und über das Meer auf Holzstücken eingeschleppter kleiner Nager, ausschließlich Beuteltiere. Durch das Absinken einer Landbrücke ist dieser Kontinent zu Ende der Jura- oder zu Beginn der Kreidezeit von der übrigen Welt isoliert worden, so daß sich seine Pflanzen- und Tierwelt für sich, unbeeinflußt von neuen Zuwanderern, entwickelte. Damals existierten von Säugetieren nur die niedrigsten Gruppen, eben die Kloaken- und Beuteltiere. Unterdessen ntwickelten sich anderswo in vom Kampf ums Dasein stärker heimgesuchten Gegenden die placentalen Säugetiere, von denen aber nur

Digitized by Google

solche in jenem isolierten Kontinente Aufnahme fanden, die wie die Fledermäuse auf dem Luftwege oder kleine Nagetiere auf dem Wasserwege mit angeschwemmtem Holz Eingang darin fanden.

Lange nach Australien ist Südamerika von der übrigen Welt vorübergehend isoliert worden. Als einzige Beuteltiere besitzt es die Beutelratten, von Zahnlosen die Faultiere, Ameisenfresser und Gürteltiere, die sämtlich in Afrika fehlen, während im letzteren Kontinente Schuppentiere und Erdferkel vorkommen, die in Südamerika fehlen. In Afrika leben dagegen eine Anzahl Pferdearten, Naßhörner, Flußpferde, ein Elefant, welche Formen in Südamerika gänzlich fehlen, wo wir dagegen Repräsentanten von andern, in Afrika fehlenden Tier-

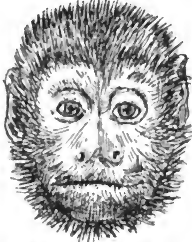


Fig. 313. Kopf eines Westaffen (Cebus, Rollaffe).



Fig. 314. Kopf eines Ostaffen (Cercopithecus, Meerkatze). Die linke Backentasche ist auspräpariert und gefüllt dargestellt.

gattungen finden. Insektenfresser und Hohlhörner, die in Afrika reich vertreten sind, fehlen ebenfalls gänzlich in Südamerika; von Affen findet man daselbst allein die Platyrrhinen oder Westaffen, deren äußere Nasenlöcher durch eine breite Hautbrücke getrennt sind, die drei Prämolaren oder Backenzähne oben und unten und keine Backentaschen, außerdem aber einen verhältnismäßig großen Blinddarm besitzen, in Afrika dagegen ausschließlich die davon sehr verschiedenen Katarrhinen oder Ostaffen, deren äußere Nasenlöcher dicht nebeneinander liegen, die stets zwei Prämolaren, oft Backentaschen und einen kleinen Blinddarm besitzen. Ähnliche Unterschiede sind für manche Vogelgruppen und für andere Tiere, wie auch Pflanzenabteilungen zu verzeichnen.

Diese Verhältnisse sind ohne die Annahme der Abstammungslehre gänzlich unbegreiflich. Von letzterer dagegen sind sie unschwer zu verstehen. Beide Länder sind durch weite Meeresarme von einander ge-

Digitized by Google

trennt und haben sich durch lange Zeiträume während der erdgeschichtlichen Entwicklung ebenso verhalten, so daß sich ihre Fauna und Flora besonders entwickeln konnten. Dabei sind ursprünglich gemeinsame Formen an einer Stelle erhalten geblieben, an andern ausgestorben und neue Formen sind unabhängig von einander auf jedem der beiden Kontinente entstanden. Zu ähnlichen Resultaten gelangen wir auch bei der Betrachtung der andern großen Tier- und Pflanzenregionen.

Nicht weniger lehrreich sind die Verhältnisse der Pflanzen- und Tierverbreitung auf kleinen isolierten Inseln. Würdigen wir in dieser Beziehung die 850 km westlich vom südamerikanischen Kontinente liegenden Galapagosinseln, eine Gruppe größerer und kleinerer Eilande, von denen einige ziemlich dicht beisammen, andere dagegen mehr zerstreut liegen. Ohne die übrige, nicht weniger interessante Lebewelt zu berücksichtigen, wollen wir unser Interesse ausschließlich der Vogelwelt dieser Inselgruppe schenken. Von Landvögeln findet sich eine nicht geringe Zahl, fast sämtlich Arten, die ausschließlich auf diesen Inseln vorkommen. Die meisten Singvögel gehören sogar drei Gattungen an, die allein hier vertreten sind und auf der ganzen übrigen Welt fehlen. Von Wasservögeln (Schwimm- und Watvögeln) sind ebenfalls einige besondere Arten vertreten, aber die Mehrzahl derselben kommt auch anderswo vor. Von großem Interesse ist es, daß die Vögel, besonders die weniger beweglichen Landvögel, nicht auf allen Inseln dieselben sind. Gewisse Arten sind auf eine einzige Insel oder auf ein paar nahe beisammen liegende beschränkt; andere sind über mehrere verbreitet, bisweilen in mehreren Varietäten auf den verschiedenen Inseln. Von zwei nahe beisammen liegenden Inseln kann man im allgemeinen sagen, daß sie dieselben oder sehr nahe verwandte Vögel besitzen, während zwei weit von einander liegende abweichendere Formen aufweisen. Auf den zwei nördlichsten derselben, die Culpepper und Wenman heißen und weit von den übrigen getrennt liegen, sind fast sämtliche Landvögel von denen der andern Inseln verschieden. Die meisten Vögel haben ihre nächsten Verwandten in Südamerika; nur einzelne, wie z. B. ein Bussard, sind mit nordamerikanischen Arten am nächsten verwandt. Ein ähnliches Gepräge wie die Vogelwelt dieser Inseln haben namentlich auch die sich dort findenden Eidechsen, die sich teilweise von Seetang nähren und zur Erlangung dieser Speise sich ziemlich weitgehend dem Wasserleben angepaßt haben. Es sind südamerikanische Typen, welche zum Teil in verschiedenen Formen auf den verschiedenen Inseln auftreten.

Digitized by Google

Für die ältere Auffassung, nach der alle Tierarten unabhängig von einander geschaffen worden sein sollten, ist es ganz unfaßlich und rätselhaft, weshalb diese Inseln besondere Arten, weshalb sogar gewisse Arten auf eine einzelne oder wenige Inseln beschränkt und weshalb endlich diese sämtlichen Arten mit den südamerikanischen verwandt sind. Nur vom Standpunkte der Abstammungslehre sind diese Verhältnisse nicht nur begreiflich, sondern ganz selbstverständlich. Die Galapagosinseln haben ihre Flora und Fauna von Südamerika her erhalten, mit dem sie einst zusammenhingen, bevor sie durch ein Absinken des Landes davon getrennt wurden. Ein Teil der Vögel ist auch nachträglich über das Meer dahingeflogen, teils freiwillig, teils aber auch vom Sturme verschlagen. Daß einzelne unter ihnen mit nordamerikanischen Arten verwandt sind, ist leicht zu verstehen, wenn man sich erinnert, daß nördliche Arten allgemein nach Süden wandern. Einzelne dieser Wandervögel sind dann ebenfalls dort gelandet und da sie günstige Lebensbedingungen fanden, auch dort geblieben. Als Folge ihrer starken Isolierung von der übrigen Welt hat nun ganz selbstverständlich die Tierwelt dieser Inseln ein so starkes Sondergepräge entwickelt, daß sich sogar besondere Gattungen bildeten. Daß die Artbildung bei den Landvögeln stärker war als bei den Wasservögeln ist offenbar dem Umstande zuzuschreiben, daß letztere leichter über das Meer wandern können und deshalb häufiger als erstere von südamerikanischen Artgenossen, die sich mit ihnen paarten, besucht wurden. Daß endlich auf den einzelnen Inseln teilweise besondere Arten entstunden, rührt daher, daß sie soweit von einander entfernt liegen, daß die Tiere während langer Zeiträume von denjenigen der andern Inseln isoliert blieben und sich selbständig weiter entwickelten. — Ähnliche Verhältnisse wie auf den Galapagosinseln findet man bei manchen andern Inseln, die schon lange vom benachbarten Festlande getrennt sind.

Die von Charles Darwin zuerst wissenschaftlich begründete Abstammungslehre, die längst vor ihm von großen Geistern vermutet wurde, aber aus Mangel an darauf bezüglichen Beobachtungen nicht einwandfrei bewiesen werden konnte, ist also durchaus keine Hypothese mehr, sondern ein feststehendes Axiom, an dessen tatsächlichem Bestehen kein Mensch, der sich darüber klar geworden ist, mehr zweifeln kann. Nur für die Erklärung der Ursachen, die die Entwicklung der Lebewelt bedingten, sind im Laufe der letzten Jahrzehnte verschiedene Erklärungen aufgestellt worden, denen wir nun einige Aufmerksamkeit schenken wollen. Schon Darwin selbst hat sich nicht damit begnügt, darzutun,

Digitized by Google

daß eine Entwicklung tatsächlich stattfand, sondern er suchte zugleich auch nachzuweisen, welche Kräfte dieselbe geleitet haben möchten. Dabei kam er auf die Aufstellung der Selectionstheorie. Durch seine umfassenden Studien über die Zucht der Kulturpflanzen und Haustiere hatte er einen lebhaften Eindruck von der Bedeutung der Auslese für die Züchtung von Kulturrassen gewonnen. Im Laufe verhältnismäßig kurzer Zeit kann man, wenn man immer diejenigen Individuen einer bestimmten Rasse zur Zucht auswählt, die die angestrebten Eigenschaften am ausgesprochensten aufweisen, eine neue Art züchten. So sind z. B. von einer einzigen Wildform, der Felsentaube, Columbia livia, die so überaus mannigfaltigen Kulturrassen unserer Haustauben gezüchtet worden, ebenso wurden alle übrigen so verschiedenen Kulturrassen aller Haustiere des Hundes, des Pferdes, des Rindes, der Kaninchen und Hühner, wie auch die zahllosen Obst- und Gemüsearten, Blumen- und andere Zier- und Nutzgewächse durch systematisches Züchten gewonnen. Wie der Mensch solche wunderbare Effekte einzig nur durch die künstliche Zuchtwahl des ihm jeweilen am besten Zusagenden erzielte, so arbeitet die natürliche Zuchtwahl, wie Darwin glaubte, durch die Auslese im Kampfe ums Dasein. Von allen Pflanzen- und Tierarten werden stets sehr viel mehr Keime zur Entwicklung gebracht, als auf der Erde überhaupt Platz zum Leben haben. So bleiben von selbst immer nur die für den Kampf ums Dasein am besten ausgestatteten Individuen erhalten. Indem diese allein zur Fortpflanzung gelangen und unter ihren Nachkommen stets wieder die ausgezeichnetsten, immer besser einer speziellen Lebensweise angepaßten Individuen zur Vermehrung kommen, bilden sich durch natürliche Auswahl (natural selection) neue Rassen, die die kleinen nützlichen Variationen, welche einmal zufällig bei ihnen auftauchten und den betreffenden Individuen in der Folge ein Übergewicht über die weniger gut ausgerüsteten mitbewerbenden Genossen gleicher Rasse verliehen, mit der Zeit kumulierten, d. h. anhäuften. Wenn es z. B. einem Säugetiere nützlich war, schnellfüßig zu sein, so wurden im Laufe der Entwicklung alle kurzbeinigeren Formen ausgemerzt und immer hochbeinigere gezüchtet, bis diese Spezialisierung ihr Maximum erreichte. Durch sie erklärt sich die höchste Zweckmäßigkeit aller Organismen von selbst: Indem alles Unzweckmäßige im Kampfe ums Dasein (struggle for life) unterging, blieb nur erhalten, was eine höchste Zweckmäßigkeit der Organisation aufwies.

In Bezug auf die Entwicklungslehre hatte Darwin einen Vor-

Digitized by Google

läufer im französischen Gelehrten Jean Baptiste Monet de Lamarck, der im Jahre 1744 in der Picardie geboren wurde, seit 1792 als Professor in Paris wirkte und 1809 eine zweibändige Philosophie zoologique herausgab, in der er seine Gedanken über die Abstammung der Tiere aussprach. Dieser 1829 verstorbene Forscher stellte die für jene Zeit unerhörte Behauptung auf, daß im ersten Anfange der Erdgeschichte nur die allereinfachsten Pflanzen und Tiere entstanden seien und aus ihnen allmählich immer höhere und zuletzt die vollkommensten hervorgingen. Die ersteren entständen noch heute und füllten die durch das Fortschreiten der übrigen entstandenen Lücken. Der Entwicklungsgang der Erde und ihrer organischen Bevölkerung sei ein ganz zusammenhängender und keineswegs durch allgemeine, alles vernichtende geologische Umwälzungen unterbrochen worden, wie sie sein Zeitgenosse Georges Cuvier, 1769—1832, in seiner Katastrophentheorie (niedergelegt in der Abhandlung von den gewaltsamen Veränderungen auf der Erdoberfläche) behauptet hatte. Lamarck war der Ansicht, daß bei der allmählichen Entwicklung der Lebewelt aus einfacheren Formen die Umbildung der Arten dadurch stattgefunden habe, daß die äußeren Lebensverhältnisse sich im Laufe der Zeiten änderten und auf die Pflanzen und Tiere einwirkten. Neben der Verschiedenheit der Lebensbedingungen sei der stärkere oder schwächere Gebrauch einzelner Organe die Ursache ihrer Ausbildung oder ihres Verlustes, mit einem Worte der körperlichen Veränderungen gewesen. So habe sich der lange Hals der Giraffe dadurch gebildet, daß sich das Tier beständig nach hohen belaubten Bäumen hinaufreckte, oder die langen Beine der Watvögel seien dadurch entstanden, daß die Tiere sie zum Begehen von möglichst tiefem Wasser nach Möglichkeit streckten.

Daß solche Verhältnisse ihre Bedeutung haben, ist außer Frage und wurde auch von Darwin anerkannt. Sicher ist die Einwirkung der äußeren Lebensbedingungen, wie auch der Nahrung von weitgehendstem Einflusse auf die Ausbildung neuer Arten. Wie man durch Verabreichung von verschiedenem Futter eine von der gewöhnlichen abweichende Färbung bei den Schmetterlingen und gewissen Vögeln erzielen kann, so kann man durch Geben von animalischem Futter bei Froschlarven kurze, durch Pflanzenstoffe, die viel größere Ansprüche an die Verdauung stellen, dagegen lange Gedärme erzielen. Bei Froschlarven derselben Größe war der Darmkanal im ersteren Falle nur 4,5, im letzteren dagegen 8,4 mal so lang als der Körper.

Was die äußeren Lebensbedingungen anbetrifft, so kann beispiels-

Digitized by Google

weise eine Änderung des Salzgehaltes umgestaltend auf darin lebende kleine Tiere und Pflanzen wirken. So lebt beispielsweise in Salzwasserlachen am Kaspischen Meere ein kleines Krebstier namens Artemia salina. Werden diese Tiere in Wasser versetzt, das mehr Salz enthält, so wird ihre Gestalt in sehr wesentlichem Grade verändert: der Schwanz wird verhältnismäßig länger, die Schwanzanhänge werden kürzer, der Nebenast der Beine größer. Dies rührt daher, daß in der konzentrierten Lösung die Fortbewegung schwieriger ist und entsprechend größere Lokomotionsorgane erfordert.

In einer dänischen Föhrde namens Lammefjord auf Seeland, die durch einen Damm vom Meere abgetrennt und dadurch zu einem Süßwassersee gemacht wurde, haben sich die darin abgesperrten Heringe zu einer Rasse von viel geringerer Größe entwickelt als sie die im Meere gebliebenen Heringe aufweisen. Auch in Finnland wurden die im Süßwasser abgesperrten Heringe bedeutend kleiner und entwickelten sich zu einer Rasse mit besonderen Eigenschaften. Im Canal du Midi, einer am Ende des 17. Jahrhunderts angelegten Wasserstraße, die die Garonne mit dem Mittelmeere in Verbindung setzt, lebt eine besondere kleine Fischart, Atherina Riqueti, welche nur an dieser einen Stelle getroffen wird. Ihre nächste Verwandte ist die im Mittelmeer lebende Art Atherina Boyeri. Es hat sich also hier durch Änderung der natürlichen Lebensverhältnisse, in erster Linie wohl durch eine Abnahme des Salzgehaltes des Wassers, im Laufe von zwei Jahrhunderten im Süßwasser eine ausgeprägte selbständige Art aus einer eingewanderten Meeresform entwickelt.

Wenn auch Lamarck als ein Kind seiner Zeit die Dinge im ganzen zu naiv betrachtete, so läßt sich doch vieles auf diesem Wege erklären. Es ist deshalb sein Gedankengang in der jüngsten Zeit von manchen Forschern wieder aufgenommen worden. Man bezeichnet diese Richtung als Neo-Lamarckismus. Ihr hervorragendster Vertreter ist wohl Prof. August Pauly in München, der in einem jüngst erschienenen Buche: Darwinismus und Lamarckismus, Entwurf einer psychophysischen Teleologie (München 1905, Verlag von Ernst Reinhardt) seine Ansichten erläutert.

Nach der von dem Naturforscher und Reisenden Moritz Wagner (geb. 1813 in Bayreuth, seit 1860 Professor an der Universität in München, † 1887) aufgestellten Migrationstheorie ist es eine Vorbedingung für die Entstehung neuer Arten, daß eine Gruppe von Individuen irgendwie vom Rest ihrer Artgenossen getrennt wird,

Digitized by Google

z. B. dadurch, daß sie in eine Gegend einwandert, wo die Art vorher nicht vorhanden war und nachher durch lange Zeiträume hindurch von den übrigen isoliert blieb. Auch ohne die Wagnersche Theorie in ihrer vollen Ausdehnung anzunehmen, muß zugegeben werden, daß dieser Faktor bei der Artbildung zweifellos eine große Rolle spielte. Zahlreiche Arten sind offenbar auf diese Weise entstanden.

Was wir schon durch die Mitteilungen über die Vogelwelt der Galapagosinseln erfuhren, wird vollkommen bestätigt durch die Erfahrungen von auf Inseln ausgesetzten Tieren, daß eben die Isolierung ein bedeutungsvoller Faktor bei der Entstehung neuer Arten bildet. Ein paar Beispiele sollen diese Tatsache erläutern. In den siebenziger Jahren des vorigen Jahrhunderts wurde eine kleine Anzahl wilder Truthühner auf eine kleine Insel bei Kalifornien übergeführt. Sie gediehen dort ausgezeichnet und zehn Jahre später fanden sich zahlreiche Nachkommen derselben auf der Insel; aber ihr Gewicht war auf ein Drittel des ursprünglichen gesunken. Es hatte sich also im Laufe weniger Generationen eine Zwergform gebildet. Diese Tatsache kann nicht verwundern; denn es ist allgemein bekannt, daß eine Isolierung von Tieren auf Inseln regelmäßig die Veranlassung zum Zurückgehen der Körpergröße und zur Ausbildung von Zwergformen gibt.

Auch nach andern Richtungen hat man bei der Überführung von Tieren in eine neue Umgebung Änderungen eintreten sehen. Auf der Insel Portosanto östlich von Madeira hat sich aus hier vor 400 Jahren von Spaniern ausgesetzten Kaninchen eine eigentümliche wilde Kaninchenform gebildet, die als besondere Art erscheint, eine ausgeprägte besondere Farbenzeichnung usw. besitzt. Ebenfalls vor 400 Jahren haben die Spanier das in Südeuropa heimische Rothuhn, Caccabis rufa, auf den kanarischen Inseln eingeführt. Auch dieser Vogel hat sich im Laufe der Zeit sehr deutlich verändert; der Schnabel ist um ein Viertel länger und kräftiger als bei der europäischen Stammform geworden, der Mittelfuß hat sich ebenfalls verlängert und verdickt, auf der Rückenseite ist der Vogel statt bräunlich grau geworden. Auf Neuseeland hat man vor einer Reihe von Jahren europäische Forellen eingeführt. Schon nach zwanzig Jahren wichen ihre Nachkommen in gewissen Charakteren des Kiemendeckels merklich von der europäischen Stammform ab.

Die allen Lebewesen innewohnende Variationsfähigkeit, die je nach den Einflüssen der Außenwelt neue Formen schafft, wird besonders auch durch chemische Einflüsse angeregt, wie sie in der Natur besonders

Digitized by Google

der Parasitismus bedingt. So ist es eine schon länger bekannte Erfahrungstatsache, daß unter dem Einflusse von Parasiten gefüllte Blumen entstehen. Dabei brauchen diese nicht unmittelbar auf die Blüte einzuwirken, sondern können am entgegengesetzten Ende der Pflanze, z. B. an der Wurzel, sitzen. So fand Molliard bei verschiedenen Primeln und Skabiosen oder Knopfblumen an verschiedenen Standorten mitten unter normalen Individuen die Staub- und Fruchtblätter in abweichender Weise ausgebildet. Als Ursache dieser Abnormität ergab sich in allen Fällen die Anwesenheit von Faderwürmern in beträchtlicher Menge am Wurzelwerke der betreffenden Pflanzen, während die normalen Stöcke keine solchen aufwiesen. Die Annahme, daß diese Parasiten die Ursache der Blütenmodifikation seien, fand ihre Stütze in folgenden Versuchen jenes Forschers: Setzte er an der Stelle, wo ein abnormer Stock gestanden hatte, eine normale Pflanze ein, so zeigte diese im folgenden Jahre dieselbe Blütenveränderung wie dasjenige Exemplar, dessen Stelle es eingenommen hatte, und seine Wurzeln enthielten ebenfalls Fadenwürmer. Jedenfalls sind die in diesem Falle wirksamen chemischen Stoffe von den an den Wurzeln schmarotzenden Würmern erzeugt worden, ähnlich wie durch lokale Reizungen bestimmter Pflanzenteile durch Gallmücken und Milben oder deren Eier Gallbildungen entstehen, nur wurden sie in diesem Falle weithin durch die Pflanze fortgeleitet.

Über die Entstehung neuer Arten durch chemische Einflüsse hat besonders der Direktor der botanischen Versuchsabteilung am Carnegie-Institut in Washington Dr. D. T. Mac-Dougal eingehende Versuche gemacht. Er unterwarf gewisse zu Variationsbildung geneigte Pflanzenarten wie die Nachtkerze, Oenothera biennis, eine Verwandte derselben, die Raimannia odorata, und die Begonie vor der Kreuzung der Einwirkung chemischer Agentien, indem er sehr verdünnte Lösungen von Zinksulfat oder Calciumnitrat (1 : 2000) oder 10 prozentige Zuckerlösung oder solche von Radiumpräparaten in die Fruchtknoten der betreffenden Pflanze einspritzte. Die darnach erzeugten Tochterpflanzen zeigten teilweise wesentliche Verschiedenheiten von der Mutterpflanze. War die Elternpflanze rauhhaarig, mit breiten Blättern, so war die Tochterpflanze glatt mit weit schmäleren Blättern und andern Unterschieden, die wir nicht alle aufzählen wollen. Und zwar wurde als wichtigste Tatsache die Vererbbarkeit der neu erworbenen Eigenschaften festgestellt. Die Blüten der neuen Art wurden sorgfältig bewahrt und, sobald sich Samen gebildet hatten, diese ausgesät,

Digitized by Google

um eine neue Generation zu erhalten, wobei dann einige Exemplare erzielt wurden, welche in jeder Beziehung dem neuen, künstlich hervorgerufenen Typus entsprachen und keine Neigung zu einem Rückfall in den ursprünglichen zeigten. Es ist also möglich, daß ohne menschliches Zutun radioaktive Stoffe, die sich im Boden, in Quellen oder im Regenwasser finden oder schweflige Säure und andere Gase, welche sich ja an zahllosen Orten entwickeln, wesentlichen Einfluß auf die Erzeugung von vererbbaren neuen Eigenschaften haben.

Durch solche sich der menschlichen Erkenntnis vollkommen entziehende Wirkungen sind wohl auch die Erscheinungen zurückzuführen, daß irgend eine Pflanzen- oder Tierart irgendwo plötzlich in mehreren, recht scharf von einander unterschiedenen Formen auftritt. Schon Darwin kannte ihr Vorhandensein; er bezeichnete sie als single variations, um ihr vereinzeltes Auftreten anzudeuten. Sie unterscheiden sich von den individuellen Variationen dadurch, daß sie in allen ihren Merkmalen beständig sind. Unter was für verschiedene äußere Existenzbedingungen man sie auch bringen mag, niemals schlagen sie wieder auf ihre Mutterformen zurück; sie variieren wie echte Arten individuell, aber das plötzlich aufgetretene Merkmal, durch das sie sich von der Stammart unterscheiden, ist konstant.

Obschon nun Darwin das Vorkommen dieser spontanen Variationen kannte, legte er ihnen keinen besonderen Wert bei, indem er bei der Begründung der Abstammungslehre den individuellen Variationen alle Bedeutung beimaß. Seine Nachfolger führten diese einseitige Betonung der letzteren noch weiter durch, bis der holländische Botaniker Hugo de Vries die Aufmerksamkeit der wissenschaftlichen Welt auf dieses bis dahin für unwichtig gehaltene, weil verhältnismäßig selten sich ereignende Vorkommnis der plötzlich auftretenden Umgestaltung einer Art in eine andere, neue lenkte. Er bezeichnete diese Erscheinung als Mutation und gründete auf sie eine Abstammungstheorie, die Mutationstheorie, nach welcher sich neue Arten lediglich aus solchen sprungweisen Veränderungen entwickeln sollen, während die fast unmerklichen individuellen Variationen ohne nachhaltige Bedeutung seien und nimmermehr Veranlassung zur Bildung neuer Arten bilden könnten. Wenn auch letztere Anschauung nach unserer heutigen Erkenntnis entschieden unrichtig ist, weil sie zu einseitig urteilt und in ihren Voraussetzungen zu weit geht, so ist doch nicht zu leugnen, daß solchen Mutationen bei der Entwicklung der Lebewesen eine größere Bedeutung zukommt als man bis dahin glaubte.

Digitized by Google

Solche sprungweise auftretenden Veränderungen von Arten, deren Ursache uns völlig unbekannt ist, hat man schon mehrfach beobachtet. So hat beispielsweise das plötzliche Auftreten einer nicht auf Rachitis beruhenden, vererbbaren, unterwachsenen, dachshundähnlichen Gestalt bei einem Lamm im Jahre 1796 die Veranlassung zu einer neuen Schafrasse gegeben. Auf zersetztem Serpentingestein wachsende Farne bilden seit Jahrhunderten eine den Botanikern wohlbekannte kleine Form, die erst in der sechsten Generation künstlich wieder zur allgegemeinen Form zurückkehrte. Einwandfreier als diese Beobachtung ist das vom Straßburger Botaniker Graf Solms-Laubach tatsächlich als Folge einer solchen Mutation festgestellte Auftreten einer neuen Abart des bekannten Hirtentäschels, Capsella bursa pastoris. Dieser Forscher fand, daß dieses überall in Europa verbreitete Ackerunkraut auf

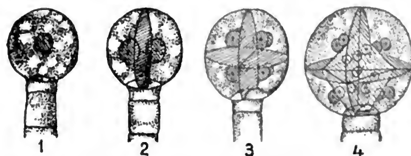


Fig. 315. Aufeinanderfolgende Entwicklungsstadien eines befruchteten Eies des Hirtentäschels, Capsella bursa pastoris. Aus einer Zelle haben sich durch fortgesetzte Teilungen nach den verschiedenen Richtungen im Raume 16 Tochterzellen gebildet. (Sehr stark vergrößert.)

einem Meßplatz in Landau in der bayerischen Pfalz ganz unvermittelt eine neue Art mit besondern Merkmalen aus sich hervorgebracht hatte. Diese von ihm als Capsella Heegeri bezeichnete Abart war mitten unter den Individuen der gewöhnlichen Art in zahlreichen Exemplaren aufgetreten und hat sich seitdem an ihrem Ursprungsorte beständig erhalten.

Die Pflanze, an welcher de Vries seine grundlegenden Untersuchungen machte, ist eine Nachtkerzenart, Oenothera Lamarckiana. Diese großblumige gelbe Gartenzierpflanze ist amerikanischen Ursprungs und wurde seit etwa einem Jahrhundert vielfach bei uns in Europa gezogen. Sie öffnet sich abends, um sich von Nachtschmetterlingen besonderer Art befruchten zu lassen und ist schon am folgenden Morgen verwelkt. Im Jahre 1876 trat sie zufällig als Gartenflüchtling in einem Kartoffelfeld auf und dehnte sich bald in vielen Hunderten von Exemplaren über größere Strecken Landes aus. Unter diesen Wildlingen gab es merkwürdigerweise außer einer Menge unbeständiger

Variationen bestimmte Individuengruppen mit abweichenden, durchaus neuen Eigenschaften, die sich in den Samen als beständig erwiesen.

Auf sie aufmerksam geworden, nahm sie nun de Vries in Kultur und auch hier erwies sie sich als ungemein wandlungsfähig, wie der Autor sich ausdrückt: in einer merkwürdigen Mutationsperiode begriffen. Während mehrjähriger Züchtung lieferte sie eine ganze Reihe samenbeständiger neuer Arten, deren jede nicht bloß in einer einzigen Form, die man dann durch ihre Samen vermehrte, hervorgebracht wurde, sondern stets mehrfach aus dem gleichartigen Ausgangsmaterial entstand. Neben den neuen, entwicklungsfähigen Arten entstanden aber auch solche, die für die Pflanze ganz nutzlose, ja sogar nachteilige Eigenschaften besaß. So hat sich von dem Gartenflüchtling unter andern eine Art abgezweigt, die völlig unfruchtbar ist und sich daher nicht einmal durch Nachkommen am Leben erhalten kann. Trotzdem wird sie von der Natur immer wieder hervorgebracht.



Fig. 316. In der Mitte die Mutterpflanze Oenothera Lamarckiana, aus welcher sowohl die links davon dargestellte Oenothera lata, als auch die rechts davon stehende Oenothera nanella hervorging. Nach de Vries.

Über seine Beobachtungen und die daraus zu ziehenden Schlüsse in Betreff der Mutationen von Oenothera Lamarckiana äußert sich dieser Forscher folgendermaßen: „Nur eine genaue Betrachtung lehrt, das etwas Neues entstanden ist. Einige wie der Zwerg (Oenothera nanella) und die O. lata fallen bald dadurch auf, daß sie von niederer Gestalt sind, andere sind von einem feineren Baue und von schlankem Wuchs (O. scintillans und O. oblonga), einige sehr schwach (O. albida) und andere wiederum äußerst kräftig (O. gigas und O. rubrinervis).

Aber die Formen der Blätter sind deutlich verschieden, ebenso ihre Farbe und ihre Oberfläche. Dunkelgrün und glänzend bei der O. scintillans, sind sie blaßgrün und runzlich bei der O. lata. Schmal und spitz bei der ersteren sind sie rundlich und breit bei der letzteren Art. Je genauer man zusieht, um so deutlicher prägen sich

Digitized by Google

die verschiedenen Typen aus, um so klarer wird es dabei, daß nicht ein Chaos neuer Gestalten, oder eine lange Reihe sich ähnlicher und allmählich in einander übergehender Formen entstanden ist.

Alle Gestalten sind ähnlich,
Doch keine gleichet der andern.

Jede dieser neuen Gestalten entstand aus einem Samen, welcher auf der Mutterart reifte, sei es im Freien, sei es



Fig. 317. Die Mutterpflanze Oenothera Lamarckiana.



Fig. 318. Oenothera gigas.

in meinem Versuchsgarten, nach künstlicher Befruchtung mit dem eigenen Blütenstaub.

Die neuen Formen verhalten sich zu einander, wie die oben erwähnten Arten von Fliegen, Käfern und Schmetterlingen, von Rosen und Weiden, von Brombeeren und Hieracium, wie die Unterarten von Draba, Viola und zahlreichen andern vielgestaltigen Sippen. Kleine, dem Laien oft unmerkliche Unterschiede trennen sie, aber sie trennen sie ebenso scharf, wie die Grenzen zwischen manchen nächsten Verwandten, von den besten Systematikern anerkannten Arten. Sie bilden eine förmliche Explosionsgruppe, mit allen Eigentümlichkeiten, welche wir für eine solche ausmalten.

Digitized by Google

Einmal aus der Mutterart hervorgetreten, sind die neuen Arten sofort konstant. Es ist dazu keine Reihe von Generationen, kein Kampf ums Dasein, keine Elimination der Untauglichen, keine Auslese erforderlich. Ich wähle als solche die Oenothera gigas. Sie ist von derselben Höhe wie die Mutterart, aber der Stengel ist dicker, dichter beblättert, mit einer breiteren Krone weit geöffneter Blumen und mit viel dickeren Knospen. Sie entstand in meiner Kultur des Jahres 1895 in einem einzigen Exemplare, und ich habe dasselbe sogleich bei der Blüte künstlich mit sich selbst befruchtet, unter völligem Ausschluß des Insektenbesuches.

Die Aussaat dieser reinen Samen fand im nächsten Frühling 1897 statt. Sobald das dritte und vierte Blatt sich entfalteten, zeigte sich der Unterschied. Alle die jungen Pflänzchen waren anders als die der Mutterart, kräftiger und breiter beblättert, dunkler von Farbe. Sie waren einige Hunderte an der Zahl, bildeten aber offenbar nur einen einzigen Typus. Und als im Laufe des Sommers sich erst die Stengel, dann die Blütenknospen und Blüten und endlich die Früchte zeigten, war es über allen Zweifel erhoben, daß eine neue und völlig konstante Art entstanden war.



Fig. 319. Oenothera lata.

In dieser Weise sind auch meine übrigen Arten entstanden, plötzlich und ohne Übergänge. Und so darf man sich damit vorstellen, daß Arten in der Natur allgemein auftreten — nicht allmählich, unter dem Einfluß der Außenwelt sich dieser langsam anpassend, sondern mit einem Sprunge, unabhängig von der Umgebung. Die Arten sind keine willkürlichen Gruppen, zwischen denen der Mensch zur besseren Übersicht hier und dort Grenzen macht; sie sind scharfumschriebene, nach Zeit und Raum abgegrenzte, durchaus selbständige Wesen.

Es ist aber nicht erforderlich, daß jede Art nur in einem einzigen Individuum entstehe. Derselbe Sprung, diese Mutation kann sich wiederholen, wenn nur die Ursache dazu erhalten bleibt. Und so war es denn im allgemeinen in meinen Versuchen. Man hat nur dafür

Digitized by Google

zu sorgen, daß die Kulturen den nötigen Umfang haben, daß sie nicht aus wenigen Hunderten, sondern aus mehreren Tausenden von Individuen bestehen. Wo solches der Fall ist, stellen sich bald zwei neue Regeln heraus. Denn einerseits findet man in derselben Aussaat ganz gewöhnlich mehrere Exemplare der O. lata, der O. nanella, der O. oblonga und oft auch der andern neuen Typen. Andererseits aber treten in den aufeinanderfolgenden Jahren immer wieder dieselben Typen aus dem gemeinsamen Stamme zum Vorschein. Die Anzahl der neuen Arten ist keineswegs eine unbeschränkte; ganz im Gegenteil sind es deren nur wenige, welche alljährlich und in vielen Exemplaren auftreten. Neben den häufigeren kommen selbstverständlich auch seltenere vor, wie die O. gigas und einige andere.

Jetzt aber müssen wir unsern speziellen Fall verlassen und von der einzelnen Tatsache wieder zu unseren allgemeineren Erörterungen zurückkehren. Und hier erhebt sich zunächst die Frage, ob die Beobachtungen an der Oenothera nun auch das Schema für jede andere Artbildung abgeben sollen. Dieses ist aber weder meine Meinung, noch entspricht es meiner Erfahrung. Nur für die fortschreitende Entwicklung, nicht aber für die zahllosen Rückschritte und Seitenschritte im System soll unser Schema gelten.

Der Fortschritt in der Lebewelt muß aber im großen und ganzen ein stoßweiser gewesen sein. Während Jahrtausenden bleibt alles in Ruhe. Die wildwachsenden Pflanzen unserer heimischen Flora sind jetzt nicht wesentlich andere, als sie zu den Zeiten der Germanen waren. Von Zeit zu Zeit versucht es aber die Natur, etwas Neues und Besseres zu schaffen. Nun ergreift sie jene, das andere Mal wieder eine andere Art. Es regt sich die schaffende Gewalt, und neue Formen entspringen auf einmal einem alten, bis dahin unveränderten Stamme. Aber die schöpferische Tätigkeit fügt sich nicht nach den gerade herrschenden Lebensumständen. Sie schöpft nur, um Neues zu bilden; sie erhöht den Reichtum der Formen, überläßt es aber diesen selbst zu versuchen, sich in den Umständen zurecht zu finden. Der einen ist das Glück günstig, der andern nicht. Und dieses entscheidet, was am Schlusse überleben wird, was also zur Fortsetzung des Stammbaumes wird auserlesen werden.

Jeder Schritt im Evolutionsprozeß bedeutet für uns eine Mutation, und daraus leiten wir den wichtigen Satz ab: So viele Schritte die Organisation von Anfang an gemacht hat, so viele Mutationsperioden muß es dabei gegeben haben.

Digitized by Google

In solchen Mutationsperioden entstehen die neuen Arten, von denen sich die besten im Kampfe ums Dasein siegreich erhalten, alle Schwierigkeiten überwinden und sich ein großes Gebiet erobern, während die minder gut Ausgestatteten untergehen. Diese geologisch gesprochen kurzen Zeiten der Mutation wechseln ab mit langen immutabeln Zeiten, in denen die Typen ohne irgendwelche Veränderung in völliger Konstanz und, wie der Dichter sagt, „jeder seiner Würde froh" ruhig weiterleben.

So denken wir uns den Stammbaum des ganzen Pflanzen- und Tierreichs aufgebaut. Von der Jetztzeit aus können wir die Zeichnung nach demselben Schema bis zu den alterältesten Lebewesen fortsetzen. Im Bilde kommen wir von den Arten zu den Sammelarten, von diesen zu den Untergattungen, von dort zu den Gattungen. Den älteren Explosionen entsprächen die Unterfamilien und Familien und alle die höheren Abstufungen des Systems.

Ein Stammbaum, wie der so gezeichnete, ist seinem innern Wesen nach nur eine hypothetische Vorstellung. Die einzelnen Explosionen haben in längst verflogenen Zeiten stattgefunden; es ist unmöglich, ihr Wesen durch die unmittelbare Beobachtung kennen zu lernen. Nur die vergleichenden und systematischen Studien gestatten uns ein Bild zu entwerfen. Das lückenhafte Material gibt nur ein lückenhaftes Bild. Über die feineren Züge des Vorganges wissen wir nichts, und werden wir kaum je eine befriedigende Kenntnis erhalten können.

Glücklicherweise gibt es eine Ausnahme, einen Angriffspunkt für die Forschung, von dem aus sie dann alles übrige beurteilen und anordnen kann. Das sind die allerjüngsten Artzertrümmerungen. Denn es liegt offenbar kein Grund vor für die Annahme, daß die Arten nur in geologischen Zeiten entstanden seien. Der Prozeß der Artbildung muß ohne Zweifel auch jetzt noch fortdauern. Sind auch die meisten Arten jetzt völlig unveränderlich, die Vermutung ist erlaubt, daß es unter ihnen, hier und dort, wenn auch vielleicht sehr selten, einzelne geben wird, welche sich gerade in einer solchen Umwandlungsperiode befinden. Viele Pflanzen habe ich in dieser Richtung geprüft, doch nur eine hat meinen Erwartungen entsprochen. Es war dies eben die großblumige Nachtkerze, Oenothera Lamarckiana An ihr ist das von Standfuß in Zürich als das Ergebnis seiner Beobachtungen an Schmetterlingen aufgestellte Prinzip „der explosiv erfolgenden Umgestaltungen" bewiesen und dadurch das Schema für die weitere Ausgestaltung des Stammbaumes gewonnen worden."

Digitized by Google

Nach den Erfahrungen, die de Vries und andere über die Mutationen sammelten, vollziehen sich die Abänderungen in der Natur auf zwei verschiedene Arten. Einmal können neue Eigenschaften auftreten, die die bekannten um eine Einheit vermehren. Eine solche Mutation bezeichnet de Vries als progressiv; sie allein bewirkt einen Fortschritt der Entwicklung. Dann kommt es vor, daß eine bereits vorhandene Anlage aus einem bis dahin latenten Zustand in einen aktiven übergeht oder, daß umgekehrt eine Eigenschaft aus dem aktiven Zustande austritt und latent wird, was sich sehr häufig ereignet. Solche Mutationen nennt de Vries retrogressiv. Sie führen zur Bildung neuer Varietäten mit erblichen Abänderungen in Bezug auf wesentliche Merkmale wie Blütenfarbe, Behaarung usw. Andrerseits kann es sich aber auch ereignen, daß halbverborgene Eigentümlichkeiten einer Halbrasse in den halbaktiven Zustand der Mittelrassen übergehen. Diese noch wenig studierten Erscheinungen faßt de Vries als degressive Mutationen zusammen. Die auf diesem Wege hervorgebrachten Abarten unterscheiden sich von den vorhergehenden durch die Unbeständigkeit ihrer Merkmale. Sie weisen eine sehr starke Veränderlichkeit auf, sind aber mit den Individualvarietäten Darwins nicht identisch, da ihre Eigenschaften von den äußeren Existenzbedingungen unabhängig sind, im Gegensatz zu den lediglich durch die Einwirkung äußerer Faktoren hervorgebrachten Individualvarietäten, die Darwin im Auge hatte, als er seine Abstammungslehre schrieb.

Außer der progressiven Mutation ist für die Bildung neuer Arten auch die Bastardierung von wesentlicher Bedeutung. Es gibt ausnahmsweise konstante Bastardrassen, für die der als Aegilops speltiformis bezeichnete spelzblütige Walch, eine Getreideart, die durch Bestäuben der Narben des Gerstenwalchs, Aegilops ovata — gezogen als Bastard aus Gerste und Weizenwalch — mit dem Blütenstaub des gemeinen Weizens gezogen wurde, das klassische Beispiel bildet. Dieser dreifache Bastard wird seit seiner Erzeugung im Jahre 1838 durch E. Fabre bald 170 Generationen hindurch unter den wechselndsten Existenzbedingungen angepflanzt und hat sich in dieser Zeit noch nicht im geringsten verändert.

In Bezug auf Bastardierung im allgemeinen läßt sich sagen, daß aus der Kreuzung zweier Pflanzen mit reinen Bastardeigenschaften Bastardrassen hervorgehen, die in ihren Nachkommen konstant bleiben und von echten Arten überhaupt nicht zu unterscheiden sind. Ein typisches Beispiel hiefür bildet der Bastard der weichstacheligen Nacht-

Digitized by Google

kerze, Oenothera muricata, einer auf Sandboden häufig vorkommenden Art, mit der gemeinen Nachtkerze, Oenothera biennis, den de Vries seit acht Generationen kultiviert und absolut konstant gefunden hat. Aber nur gewisse fertile Bastarde erzeugen eine ihnen völlig gleiche Nachkommenschaft. Zu ihnen gehören vor allem diejenigen der verschiedenen Habichtskräuter und Rosen. Dabei sind die Sprößlinge gewöhnlich Mittelformen zwischen Vater und Mutter; doch findet bei ihnen stets ein Kampf zwischen den väterlichen und mütterlichen Eigenschaften statt. Und zwar haftet die mütterliche Eigenart besonders zähe an den Früchten und Samen von Bastarden, indem diese stets nur mütterliche Eigenschaften aufweisen, auch wenn die daraus hervorgehenden Keimlinge Mittelformen zwischen Vater und Mutter darstellen. Es entstehen nämlich nicht nur Bastardpflanzen, sondern auch infolge der früher besprochenen doppelten Befruchtung Bastardendosperme, wie dies zuerst von Correns bei der Bastardierung von verschiedenen Maisrassen festgestellt wurde. Daß nun im Endosperm die mütterlichen Eigenschaften stets über die väterlichen überwiegen, ist ganz einfach daraus zu erklären, daß während im Ei sich nur ein weiblicher Kern mit einem männlichen Kern vereinigt, im Embryosackkern sich zwei weibliche Kerne mit einem männlichen Kerne paaren. Deshalb ist es sehr wohl begreiflich, daß die weiblichen Eigenschaften der Mutter im daraus hervorgehenden Endosperm überwiegen müssen. Zugleich zeigt die Umhüllung des Samens, die Samenschale, die aus beiden Integumenten entsteht, welche rein mütterlich sind, nur mütterliche Eigenschaften.

Ohne uns weiter auf das schwierige Problem der Vererbung und die Fragen über die Entstehung neuer Arten im Pflanzen- und Tierreich einzulassen, welch letztere sich heute überhaupt noch nicht beantworten lassen, da die Ursachen der Artbildung noch zu unklar sind, wollen wir nur kurz unsern Standpunkt dahin präzisieren, daß die natürliche Auslese Darwins und die Mutation nach de Vries sehr wohl nebeneinander bestehen können, da sie sich nicht widersprechen, sondern vielmehr sich gegenseitig ergänzen. Sind durch Mutationen neue Arten entstanden, so werden sie sekundär durch die Naturauslese weiter entwickelt und fortschrittlich beeinflußt, bis zuletzt absolut zweckmäßige, den jeweiligen Daseinsbedingungen angepaßte Wesen hervorgegangen sind, wie sie uns heute überall auf Erden entgegentreten.

Beschließen wir unsere Besprechungen über die Abstammungslehre mit einem beherzigenswerten Ausspruche des Baseler Naturforschers

Digitized by Google

und Psychiaters Prof. Gustav Wolff, der in einem zu Beginn des Jahres 1907 gehaltenen Vortrage über dieses Thema sich dahin äußert, daß die Teleologie die einzige Begründung der Abstammungslehre sei. Das Gesetz der Zweckmäßigkeit ist die einzige Gesetzlichkeit, die nach unserer Erfahrung das Leben beherrscht. Mit diesem Gesetze der Zweckmäßigkeit stehen eine Reihe von Tatsachen der vergleichenden Biologie in einem Widerspruche, der aufgelöst werden kann durch die Annahme der Abstammungslehre. So vor allem die rudimentären Organe, für die die Abstammungslehre die natürliche Erklärung liefert, daß dieselben als Stadien einer noch nicht abgeschlossenen Entwicklung im Sinne einer Rückbildung aufzufassen sind, die durch eine veränderte Lebensweise der betreffenden Organismen nötig geworden war. Nur die Abstammungslehre kann uns das Auftreten solch verkümmerter rudimentärer Organe erklären, die die meisten Organismen in den verschiedensten Graden der Rückbildung mit sich schleppen müssen. Erst mit ihrer Einführung in die Biologie wird die Durchführbarkeit des teleologischen Prinzips ermöglicht auch für Erscheinungen, die sonst der Einordnung unter dieses Prinzip widerstrebten. Diese Lehre setzt uns in den Stand, eine unseren sonstigen Erfahrungen entsprechende Gesetzlichkeit auch durchzuführen, wo ohne sie eine klaffende Lücke bestände.

Digitized by Google

XI.

Über Symbiose.

Schon oft ist die Erde mit einer großen Arena verglichen worden, in welcher alle Geschöpfe mit mehr oder weniger großer Erbitterung und meist mit Aufwand großer List einander zu bekämpfen und zu verdrängen bestrebt sind. Und es ist nicht zu leugnen, daß „der Kampf ums Dasein", den Darwin als den wichtigsten artbildenden Faktor hinstellte, überall auf unserem Planeten wie auch auf andern bewohnbaren Welten wütet. Aber in diesem die höchsten Fortschritte in der Schöpfung bedingenden Konkurrenzkampfe aller gegen alle gibt es auch freundlichere Beziehungen der Lebewesen zu einander, die wir ebenfalls kennen lernen müssen, wollen wir das Leben auf unserem Wohnkörper richtig würdigen. So ist in der egoistischen Natur ein aus gegenseitigem Nutzen erwachsenes Zusammenleben einander ursprünglich fremder Lebewesen, das die Wissenschaft mit dem Worte Symbiose bezeichnet, ein weitverbreitetes Vorkommnis, dem wir bei unsern Betrachtungen über die Lebensverhältnisse in unserer Umwelt wiederholt begegnet sind. Diese Beziehungen, bei denen der eine Teil auf irgend eine Weise seinen Vorteil findet, während der andere, gezwungen oder gleichgültig, diesen Vorteil gewährt, ohne selbst dabei in seinen Daseinsbedingungen gefördert zu werden, sind überaus mannigfaltig und so vielfachen Modifikationen unterworfen, daß es schwer hält sie in ein Schema unterzubringen, um so mehr, als wir über die intimeren Lebensverhältnisse namentlich vieler Meerestiere, bei denen die Symbiose besonders verbreitet ist, nur sehr ungenügend unterrichtet sind.

Diese Tiere, die ohne irgendwie Schmarotzer zu sein sich aus bestimmten Gründen persönlichen Vorteils mit irgend einem Wirtstiere vergesellschaften, bezeichnet man ganz allgemein als Synöken, d. h. Zusammenhausende, und wenn sie durch dieses Zusammensein zugleich auch

Digitized by Google

ihre Nahrung finden als Kommensalen oder Tischgenossen. Auf oder in dem Wirtstiere lebende Gäste, die nicht schmarotzen, sondern sich nur gewisse Eigenschaften ihres Gastgebers zu nutze machen, bezeichnet man als Spöken, solche die nur die Wohnung des Wirtes mitbenützen als Synöken im engern Sinne und solche, die sich nur in der Nähe des Wirtstieres aufhalten, um dessen Schutz zu genießen, als Paröken.

Betrachten wir nun aus der zahllosen Fülle solcher Verhältnisse einige der bekannteren. Da gibt es solche, die schon den Alten bekannt waren, wie beispielsweise der zur Familie der Makrelen gehörende Schiffshalter, Echeneis naucrates, der sich mit seiner wie ein Schröpfkopf wirkenden Kopfscheibe an Schiffe, Haie und große Fische ansaugt, um sich so auf bequeme Weise von ihnen durchs Wasser tragen zu lassen. Auf solche Weise legen diese Tiere ohne die geringste körperliche Anstrengung große Strecken zurück und haben dabei reichlich Gelegenheit, irgendwelche dicht vorbeischwimmende Beute zu erhaschen. Solche Reisegelegenheit wird besonders von zahlreichen sedentär gewordenen Krebsen, wie den Seepocken und Entenmuscheln, benützt, welche regelmäßig die Haut von Walen, Haifischen und Seeschildkröten bewohnen, und zwar bestimmte Arten stets auf denselben Wirten, wie Conchoderma, Coronula, Tubinella auf Walen, Alepas auf Haien, Chelonobia auf Seeschildkröten usw. Die drolligen Caprellen und manche Krabben lieben es, sich ebenfalls von solchen Tieren umhertragen zu lassen, wie überhaupt alle seßhaft gewordenen Tiere, von den Infusorien und Moostierchen an bis hinauf zu den höchsten Formen, eine solche ihnen Nahrung mühelos zuführende Reisegelegenheit mit Vorliebe benützen.

Seltener als im Wasser finden wir solche blinde Passagiere in der Luft, so Bücherskorpione und Jugendstadien von Milben auf Fliegen und andern Insekten, die schmarotzenden Larven der Maiwürmer und Fächerflügler an Honig naschenden Bienen, um so in deren Wohnungen zu gelangen. Hier wären auch die Ameisenmilben und Bienenläuse anzuführen, die bei Nahrungsbedarf ihre Wirte so lange am Munde kitzeln, bis diese reflektorisch einen Tropfen Futtersaft für sie abgeben. Alle Vögel haben ihre besondern Arten von Federlingen oder Federläusen, die die abfallenden Epidermisschuppen, teilweise aber auch junge Federn verzehren, wie auch im Pelze der Säugetiere fast regelmäßig solche Milbenarten leben, welche die abschuppenden Hautpartikelchen auffessen. So sind auch an den Fischen stets winzige

Digitized by Google

Krebschen als solche Hautreiniger tätig. Sie sitzen an der Oberfläche der Schuppen oder am Grunde der Schleimausführungskanäle und lassen sich die Beseitigung der sich anhäufenden Hautabsonderungsprodukte angelegen sein, nützen also damit ihren Wirten, die sie indifferent dulden.

Schon Aristoteles berichtet von der erbsengroßen Krabbe Pinnotheres, d. h. Wächter der Steckmuschel pinna, die sich zwischen die Kiemenlappen der lebenden Muschel einquartiere und ihre Wirtin durch Kneifen vermittelst der Scheren vor drohender Gefahr warne oder sie auf in der Nähe befindliche Beute aufmerksam mache in der Hoffnung einen Teil derselben als Lohn für ihre Bemühungen zu erhalten. Und tatsächlich lebt die kleine Pinnotheres veterum des Mittelmeeres in der Schale der fußlangen Steckmuschel zugleich mit einer



Fig. 320 Der Schlangenfisch des Mittelmeeres Fierasfer, der sich in a nach dem hintern Ende der Seegurke befühlt und sich in b nach Entdeckung des Afters mit dem Schwanz in den Enddarm hineinarbeitet.

blaßroten Garneele, während die kleinere Art der Nordsee, Pinnotheres pisum, in der Schale der eßbaren Miesmuschel, seltener der Herzmuschel oder Auster haust und hier außer einer geschützten Wohnung auch noch gelegentliche Beköstigung erhält. Wie diese kleinen Krebse sich erst nach Vollendung ihrer Verwandlung bei einem lebenden Schaltiere einmieten, so tun es auch jene Arten, die in der tropischen echten Perlmuschel und in der indischen Riesenmuschel, Tridacna gigas, Herberge nehmen und diese anscheinend nur zur Begattung und zum Eierlegen verlassen. Es ist daher nicht zu verwundern, wenn sich bei den küstenbewohnenden Malaien in Betreff des Verhältnisses der Riesenmuschel und ihres kleinen Gefährten, Ostracotheres tridacnae, dieselbe Meinung entwickelte, wie sie die alten Griechen besaßen. Ja, eine ebensolche kleine Krabbe, Pinnotheres holothuriae, finden wir in der im Enddarm gelegenen Wasserlunge von Holothurien oder Seegurken eingenistet. Sie können nur als junge Larven durch den After des Wirtes dorthin eingewandert sein und scheinen sich in ihrer nahrungdurchströmten Behausung, in die zudem mit dem Einsaugen des Atmungswassers zahlreiche kleine Tierchen hineinbefördert werden,

Digitized by Google

ganz behaglich zu fühlen, da man sie dieselbe nicht mehr verlassen sieht. Daß schließlich bei ihnen der Stirnrand über die Augen hinwegwächst und sie so mit zunehmendem Alter geradezu erblinden, ficht sie wenig an, da sie in ihrer ewig dunkeln Wohnkammer von ihren Sehwerkzeugen doch keinerlei Gebrauch machen können.

Aber nicht nur kleine Krabben, auch ein Dekapode und ein kleiner Fisch, der Schlangenfisch, Fierasfer acus, bevorzugen diese uns wenig appetitlich erscheinende Wohnung am Hinterende der Holothurie, wo sie regelmäßig zu finden sind. Bei letzterem, dem Schlangenfische, ist der After, wie sonst nie bei Fischen, bis an die Kehle heraufgerückt, damit sein Träger nur den Kopf aus der Holothurie herauszustrecken braucht, um sich zu entleeren. Seine noch im Freien lebenden Jungen sind merkwürdigerweise mit einem sich weit nach hinten erstreckenden Wimpelorgane am Kopfe ausgestattet, das jedenfalls als Schreckmittel dient, da es sehr den von allen Meeresbewohnern gefürchteten Nesselorganen der Quallen und Polypen gleicht.

Eine kleine Krabbe der peruanischen Küste, Fabia chilensis, setzt sich ebenfalls in die Afterlunge eines bestimmten Seeigels fest, während ein Krebs der Gattung Lithoscaptus zu seinem Schutze eine pelagische Qualle als Heim aussucht. Trotz seiner Ausrüstung mit Scheren genießt er im Bereiche der für alles andere Getier unheimlichen Nesselbatterien seines Wirtes ein vollkommen gesichertes Dasein. Sogar in der Wandung der überaus zarten Arme einer Koralle der Sandwichinseln siedelt sich eine kleine Krabbe an, die schließlich fast ganz vom wachsenden Korallenstock eingeschlossen wird und mit der Außenwelt nur noch so viel Fühlung hält als eben zur Beschaffung ihrer aus kleinen Tierchen bestehenden Nahrung unbedingt nötig ist. Desgleichen hausen und schmausen verschiedene winzige Porzellankrebse als echte Tischgenossen in Seesternen und Korallen, deren Färbung sie ebenfalls angenommen haben, um so besser geschützt zu sein.

Im allgemeinen begegnet man langschwänzige Krebse viel seltener als Kommensalen wie ihre kurzschwänzigen Vettern, die Krabben, welche sich mit Vorliebe allenthalben, wo sich ihr Körper hineinzwängen läßt, bei andern Tieren einmieten. Doch finden wir einen solchen, Galathea spinirostris, regelmäßig bei einem Haarstern zu Gast, dessen Färbung er sich ebenfalls genau angepaßt hat. Desgleichen lebt eine Garneele im Leibe einer schmucken Seerose, eine andere in der Kiemenhöhle eines Einsiedlerkrebses und, was bekannter ist, ein Paar, d. h. Männchen und Weibchen zusammen im Innern der Körperröhre eines aus langen

Digitized by Google

Kieselnadeln aufgebauten zierlichen Glasschwammes, der Euplectella aspergillum. Einen solchen Glaspalast bewohnen außer ihnen auch verschiedene Ringelkrebse.

Noch viel bekannter sind andere Tischgenossenschaften von Krebsen mit Weichtieren, so beispielsweise der Freundschaftsbund einiger Einsiedlerkrebse wie Pagurus calidus und P. Prideauxi, mit gewissen Seerosen wie Sagartia parasitica und Adamsia palliata. Diese langschwänzigen Krebse bergen ihren weichbleibenden Hinterleib durch Rückwärtskriechen und sich Festhalten mit besonderen Greiffüßen in gewundenen, leeren Schalen gewisser Lungenschnecken, die sie mit dem Größerwerden nach Bedarf wechseln. Auf diesen ihren Häuschen siedeln sie nun regelmäßig solche Weichtiere an, die sie regelmäßig bei allfälligem Wohnungswechsel mit sich nehmen. Tauschen sie eine ihnen zu eng gewordene Muschelschale mit einer größeren, so wandern sie damit alsbald zu ihrer Lebensgenossin, um sie zu veranlassen, ebenfalls auf das neue Heim überzusiedeln, was sie auf das Drängen und mit Nachhilfe ihres starken Freundes alsbald tut. Nimmt man etwa einem Einsiedlerkrebse gewaltsam seine Seerose oder seinen Schwamm ab, so sucht er sie mit größtem Eifer bis er sie gefunden hat und pflanzt sie dann mit Hilfe seiner Scheren auf sein Haus. Und die schöne Aktinie läßt sich willig von ihrem ungestümen Freunde fassen und auf seine Wanderbude versetzen; denn durch die ihr hier durch den reiselustigen Krebs gebotene Ortsveränderung genießt sie gegenüber ihren dauernd an die einmal erwählte Stelle festgebannten Schwestern den nicht zu verkennenden Vorzug, ihrer Beute stets entgegengeführt zu werden und sich so müheloser als jene ernähren zu können, um so mehr als sie auch an den Mahlzeiten des Krebses teilnehmen darf. Letzterer aber erfreut sich durch seine ihn durch ihren Leib vielfach verdeckende

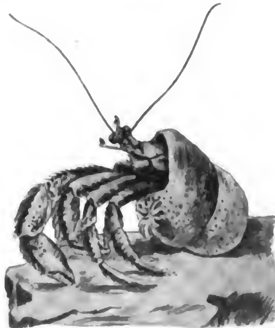


Fig. 321. Ein Einsiedlerkrebs, Pagurus Prideauxi, in einer leeren Muschelschale steckend, auf der eine kleine Aktinie der Gattung Sagartia sitzt.

Digitized by Google

Genossin nicht nur einer vorzüglichen Kulisse, unter der verborgen er sein räuberisches Handwerk ungestört treiben kann, sondern er genießt auch in hohem Maße des Schutzes seiner nesselbewehrten Freundin, die durch Abschleudern ihrer gefürchteten langen Nesselfäden alle etwa einen Angriff beabsichtigenden Feinde vertreibt. Vom Hagel ihrer Giftpfeile überschüttet, wird auch der wagemutigste Angreifer sich bald schmerzerfüllt zurückziehen und es trotz seines Hungers versuchen, andere Beute zu erhaschen.

Oft nimmt ein solcher Einsiedlerkrebs mehr als eine Genossin auf sein Haus, so außer bestimmten, jeweilig ihm speziell angepaßten und stets wieder von ihm in Tischgemeinschaft genommenen Aktinien Tierstöcke kleiner Hydroidpolypen, besonders der Podocoryne carnea, die bei der Besiedelung des Gehäuses ihres Genossen sich vorzugsweise um die Mündung der Schneckenschale ausbreitet, um hier langgestielte, mit zahlreichen Nesselkapseln besetzte Wehrpolypen zu entwickeln, die ihre furchtbaren Waffen höchst energisch gegen alle Feinde schlagen, die den Insassen zu beunruhigen wagen.

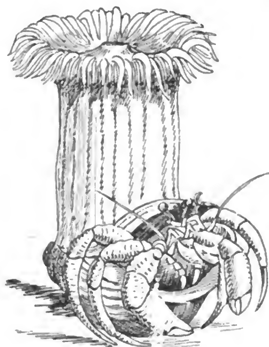


Fig. 322. Maskierung des Einsiedlerkrebses Pagurus calidus durch die schöne gelbe Seeanemone Adamsia Rondeleti.

An der chilenischen Küste kommt in 8–20 m Tiefe die als Antholoba reticulata bezeichnete Seerose sehr häufig vor, und zwar nur ausnahmsweise an festen Gegenständen angesiedelt. Für gewöhnlich ist sie stets auf dem Panzer einer bestimmten, als Hepatus chilensis bezeichneten Krabbe anzutreffen, mit der sie in treuer, festgegründeter Lebensgemeinschaft lebt. Von 60 daraufhin untersuchten gefangenen Exemplaren dieser Gattung fehlte die Aktinie nur vieren. Meist saß nur eine einzige derartige Seerose auf dem Rücken der Krabbe, den sie mit ihrer weit ausgebreiteten Fußscheibe fast ganz bedeckte. Denselben Schutz durch einen Nesselkapseln führenden Genossen suchen auch manche Fische auf, so der Trachichthys der javanischen Korallenriffe, der in dem von den Tentakeln einer großen gelben Seeanemone

umkränzten Raume seinen ständigen Aufenthalt nimmt. Merkwürdigerweise hütet sich die Aktinie ihn zu brennen, wird aber auch dafür — so beobachtete man wenigstens im Aquarium — von ihrem kleinen Symbionten dadurch belohnt, daß er ihr die zu Boden gefallenen Bissen aufhebt und sie ihr in den Mund steckt, für sich selbst nur kleine Teilchen der Beute genießend. Aus jenem lebenden Schutzwalle der nesselbewehrten Aktiniensangarme herausgetrieben, fielen die Fischchen im Aquarium in sehr kurzer Zeit andern Räubern zum Opfer. Dies beweist, wie sehr sie jenen Schutz nötig haben.

Das ursprüngliche Entstehen aller solcher Tischgenossenschaften, die nun bei den betreffenden Gesellschaftern zu einer solch feststehenden Gewohnheit geworden sind, daß sie ohne dieselbe nicht mehr leben mögen und können, ist wohl auf zufällige Beobachtungen dieser Tiere zurückzuführen. Und als sich eine solche Nährgenossenschaft als praktisch für beide Teile erwies, wurde sie regelmäßig durchgeführt und hat sich in den Instinkten der betreffenden Teilhaber festgesetzt, so daß jetzt dieser Kommensalismus bei ihnen eine völlig feststehende, altgewohnte Sitte geworden ist, der besonders die größeren Krebsarten regelmäßig huldigen.

Aber auch da, wo z. B. Krebse keinen Schutz durch Nesselkapseln führende Aktinien begehrten, hat sich bei diesen schlauen Räubern wenigstens die Maskierung durch solche auf ihrem Rücken angesiedelte Wohngenossen harmloser Art als sehr nützlich erwiesen und wird nun instinktiv von allen Gliedern derselben Gattung ausgeübt. So sind besonders die äußerst intelligenten Krabben, die in Bezug auf raffinierte Schlauheit weitaus an der Spitze der ganzen Krebssippe stehen, auf solche zur leichteren Beschleichung ihrer Opfer höchst nützlichen Maßregeln verfallen und sehr viele derselben machen sich auf diese Weise unauffällig, indem sie nicht bloß niedere festsitzende Tiere, sondern auch niedere Pflanzen, wie Algen auf ihrem Rücken ansiedeln. Schon die gewöhnlichen Taschenkrebse der Nordsee, z. B. Cancer pagurus, lieben es sich von allerlei Schwämmen, Seepocken, Röhrenwürmern und Algen bewachsen zu lassen, indem sie dieselben „eigenhändig" auf ihren Rücken aufpflanzen. Noch mehr ist dies bei Krustern der warmen tropischen Meere der Fall. Wie sich die Meerspinne Maja ihren ganzen Körper, selbst die Beine, dicht mit abgekniffenen Zweigen von Algen, Moostierchen, Polypen usw., die sie durch eigentümliche „Angelhaare" festhält, bedeckt, so trägt der Taschenkrebs Melia auf seinen Scheren, die er gerne verbergen möchte, kleine Seerosen. Gleicherweise verbirgt sich die Wollkrabbe Dromia unter einem orangeroten

Digitized by Google

Schwamme, der Einsiedlerkrebs Pagurus calidus läßt sein Gehäuse vom Kieselhornschwamme, Suberites domuncula, überziehen, der infolge der bald eintretenden Wucherung um die Mündung der Schneckenschale noch den Vorteil darbietet, daß er auch den Anforderungen des wachsenden Krebses nach Vergrößerung seiner ihm Schutz gewährenden Wohnung gerecht wird. Auch hier lassen sich nicht nur stumpfsinnige Schwämme, sondern auch eigenwilligere Aktinien auf die betreffenden Kruster, die sich maskieren möchten, bringen, ohne Abwehrversuche gegen diesen Gewaltakt vorzunehmen. Sie genießen dabei ja auch wesentliche Vorteile, nicht nur der Vermieter, so daß sie mit diesem Tausche sehr wohl zufrieden sein dürfen.



Fig. 323. Maskierung der Wollkrabbe Tromia durch einen auf ihr angesiedelten orangeroten Schwamm, der ihren Körper bisweilen so einhüllt, daß man nur an der Bewegung merkt, daß noch etwas darunter steckt.

Dieses Wohnen auf dem beweglichen Körper eines Wirtstieres ist in den Meeresregionen eine allseitig geübte Sitte, wobei sich der Gast, um einen wirksamen Schutz zu erlangen, in Färbung und Gestalt dem Wirte möglichst anpaßt, wie dies so zahlreiche Tiere in Bezug auf die von ihnen bewohnten Pflanzen tun. So leben verschiedene, als Medusenhäupter bezeichnete Seesterne auf den Stöcken verschiedener Gorgoniden oder Hornkorallen. Eine auf einem Hornschwamme, Triakentrion, lebende Nacktschnecke, Doris, gleicht in Farbe und Skulptur so sehr ihrem Wirte, daß sie nur schwer von ihm zu unterscheiden ist. Auch manche Gehäuseschnecken, wie die Pedicularia auf der Edelkoralle, die Ovula auf Gorgonien, die Crepidula auf dem Mündungsdeckel der Flügelschnecke Strombus und der Turmschnecke Cerithium usw. sind in der Färbung vollkommen ihren Wirten angepaßt, und selbst die kleinen, zu den Flohkrebsen gehörigen Caprellen dürften vollkommen geschützt sein, wenn sie an den Stöckchen von Hydroidpolypen wie Sertulariden und Tubulariden umherkriechen, während andere Krebse, besonders Flohkrebse der Gattung Isaea, den mit Hydroiden bewachsenen Panzer der Spinnenkrabben wohl mehr des Nahrungserwerbes wegen aufsuchen.

Digitized by Google

Außer dem Einsiedlerkrebs mieten sich aber in ein und dieselbe leere Schneckenschale gewöhnlich auch noch ein 3—4 cm langer Ringelwurm, Nereis, eine 1 cm lange Muschel, Crepidula, wie ein Flohkrebs ein. Unter den Würmern hausen der Palolowurm und andere Borstenwürmer im Innern der Korallenstöcke oder im Kanalsystem von Schwämmen, Alciope parasitica im Magenraum einer Rippenqualle Cydippe und ein Nematode, Odontobius, ausschließlich zwischen den Barten der Wale, wo sie alle ihre Nahrung zu finden wissen. Von Stachelhäutern wählen besonders die Schlangensterne gerne das Kanalsystem der Meeresschwämme als Aufenthaltsort. Eine Seenadel haust wie Fierasfer ebenfalls im Enddarme von Holothurien. Im Innern der Qualle Chrysaora halten sich gern die jungen Caranx trachurus auf, im Magenraum der Seeanemone Discosoma der Pomatocentride Amphiprion. Winzige Welsformen hausen furchtlos im Rachen einer größeren Art und aalartige Fischchen in den Kiemenhöhlen des ungeschlachten Seeteufels. Übelberüchtigt sind einige kleine Welsarten wegen ihrer Gewohnheit, Badenden in die Harnröhre zu dringen. Zahlreiche Meereswürmer nisten sich in den Röhren tubikoler Würmer ein, andere bevorzugen die Röhren der Bohrwürmer. Diese wenigen Beispiele ließen sich mit Leichtigkeit um zahlreiche andere vermehren.

Das bekannteste Beispiel von Synökie bei einzeln lebenden Landtieren bietet der junge Kuckuck dar, der noch von seinen Pflegeeltern gefüttert wird, also zugleich Kommensale ist, während der im Reisig des amerikanischen Seeadlernestes bauende Bootschwanz, Quiscalus versicolor, sich mit dem Schutze des mächtigen Raubvogels begnügt. Daneben wären die in den Nestern von Schwalben und zahlreicher anderer Vögel hausenden Milben und andere Insekten zu erwähnen, die hier im Detritus ihre Nahrung finden. Die besonders in den Insektenstaaten sehr verbreiteten Synöken sollen später eine kurze Besprechung finden.

Unter den höheren Tieren kommen Beispiele von Synökie nur selten vor. Wie die Brückenechse friedlich mit neuseeländischen Sturmvögeln und Sturmtauchern in von letzteren gegrabenen Höhlungen und die Dorneidechse mit der Manguste zusammen in den Kolonien des Klippdachses haust, wie Präriehunde, Prärieeulen und Klapperschlangen vielfach denselben Bau bewohnen, wie die südamerikanische Höhleneule mit dem Viscacha sich in dessen Bau teilt und darin ein- und ausgeht, ohne daß Wirt und Gast sich gegenseitig ein Leid antun, oder wie bei uns die heimischen Schafstelzen, Motacilla flava, sich gern an Weide-

Digitized by Google

tiere anschließen, so leben die zu den Staren gehörigen Madenhacker, Buphaga erythorhyncha, Mittel- und Südafrikas in Gesellschaften von 6 bis 8 Stück ausschließlich in der Nähe größerer Säugetiere, von denen sie die parasitischen Fliegenmaden und andere Schmarotzer ablesen. Sie üben ihre diesen Wirten nützliche Tätigkeit namentlich an solchen Herdentieren aus, welche wunde Stellen haben und deshalb die Fliegen zum Schmause und zur Eiablage besonders herbeilocken. Es sind vorzugsweise die Larven verschiedener Biesfliegen und die mancherlei Zecken, die diese Tiere aufsuchen und verzehren. So kann man überall in der ostafrikanischen Steppe an den Halteplätzen der Karawanen diese olivenbraunen Madenstare mit großer Gewandtheit am Körper der Kamele herumklettern sehen, um ihnen die mit Vorliebe an den Beinen, am Bauche, am After und an der Bindehaut des Auges sich festsetzenden und durch Blutsaugen bis zu Haselnußgröße anschwellenden Zecken abzulesen. In der Wildnis tun sie diesen Liebesdienst den Büffel- und Antilopenherden, ja sogar den Elefanten und Nashörnern. Alle diese großen Säuger, die jene Vögel von Jugend auf als Wohltäter kennen, bezeugen nicht nur keine Furcht vor ihnen, sondern lassen sie mit sichtlichem Wohlgefallen gewähren. Der Madenstar seinerseits vertraut auch nur den Tieren, mit denen er zusammenlebt. Vor dem Menschen, dessen Tücke er kennen gelernt hat, nimmt er sich sehr in acht. Bei Annäherung eines solchen, und namentlich eines Fremden, klettert die ganze Gesellschaft, die am betreffenden Tiere haftet, neugierig zum First des Rückens empor, um vorsichtig nach dem Ankömmling Umschau zu halten. Dabei warnen sie ihre Freunde, die natürlich diese Warnung zu beachten gelernt haben.

Wie die afrikanischen Madenhacker haben sich auch die auf Süd- und Mittelamerika beschränkten Madenfresser, Crotophaga, und die weißen Kuhreiher der Nilländer, Ardea oder Bubulcus, die oft zu 8 bis 10 Stück auf einem weidenden Büffel wie auch bei andern Herdentieren bis hinauf zum Nashorn und Elefanten in Menge die Schmarotzer ablesend, anzutreffen sind, an ihre Freunde so gewöhnt, daß sie, von jenen als Wohltäter geduldet, alle Scheu vor ihren großen Nahrungsspendern abgelegt haben. Daß dann in weiterer Entwicklung dieses Verhältnisses die keckgewordenen Vögel zu recht ungemütlichen Gesellen werden können, beweisen namentlich die Madenhacker, die in jüngster Zeit sich gewöhnt haben, den Weidetieren neben den Maden auch Haut- und Fleischstücke aus dem Leibe zu reißen, was jene sich allerdings nicht so ohne weiteres gefallen lassen. Es hat sich also bei

Digitized by Google

ihnen eine ähnliche Wandlung des Geschmackes auszubilden begonnen, die den merkwürdigen schwarzen Papageien Neuseelands, Nestor meridionalis, durch eifrige Verfolgungen von seiten des Menschen der Ausrottung nahe gebracht hat. Dieser Vogel, der sich früher, seiner pinselartigen Zunge entsprechend, von Blütensäften ernährte, hat nämlich in neuerer Zeit die für die dortigen Schafzüchter fatale Gewohnheit angenommen, nicht nur das frische Blut geschlachteter Schafe, sondern auch dasjenige lebender Tiere in der Gier nach diesem Genusse anzuzapfen. Da er mit dieser Unsitte viele Schafe zugrunde richtet, ist es begreiflich, daß ihm als Schädling mit Eifer von seiten des Menschen nachgestellt wird.

Ein ähnliches Freundschaftsverhältnis wie zwischen obengenannten Vögeln und den verschiedenen Herdentieren besteht auch zwischen dem Krokodilwächter, Cursorius aegyptius, aus der Familie der Regenpfeifer und dem Krokodil, dem er wie alle übrigen Geschöpfe, welche auf seine Stimme achten, wichtige Wächterdienste erweist. Dieses im ganzen Nilgebiet verbreitete Tier, dessen Bild uns auf den altägyptischen Denkmälern häufig entgegentritt, da es im hieroglyphischen Alphabet den Buchstaben U ausdrückt, macht sich jedem in jenen Gegenden Reisenden durch seine auffallende Lebhaftigkeit und Schreilust bemerkbar. Jedes Schiff, jeder nahende Mensch, jedes Säugetier, jeder größere Vogel erregt sofort seine Aufmerksamkeit und er beeilt sich durch lautes Geschrei dies der ganzen Umgebung kund zu tun.

Von diesem merkwürdigen Vogel erzählt Plinius, eine Mitteilung Herodots benützend, folgendes: „Wenn das Krokodil mit geöffnetem Rachen auf dem Lande liegt, fliegt der Vogel Trochilus herbei, schlüpft ihm ins Maul und reinigt es. Das tut dem Krokodil wohl und es schont daher den Vogel, ja es öffnet den Rachen weiter, damit er nicht gedrückt werde, wenn er heraus will. Dieser Vogel ist klein, nicht größer als eine Drossel, hält sich in der Nähe des Wassers auf und warnt das Krokodil vor dem Ichneumon, indem es herbeifliegt und es teils durch seine Stimme, teils durch Picken an der Schnauze aufweckt."

Um diese Stelle besser verstehen zu können, ist zu ergänzen, daß wie Herodot berichtet, diese Schleichkatze der Hauptfeind der greulichen Panzerechse sein soll, dessen Nähe sie einzig unter allen Tieren nicht fürchte. Sie nähere sich vielmehr dem mit geöffnetem Rachen schlafenden Krokodile, springe ihm hinein, beiße sich ihm durch den Schlund, zerfleische ihm das Herz und öffne sich dann, mit Blut völlig

Digitized by Google

bedeckt, vermittelst ihrer scharfen Zähne einen Ausweg durch den Leib des Ungetüms. Außerdem schleiche das Ichneumon beständig umher und spüre überall die Stellen aus, wo das gefährliche Raubtier seine zahlreichen Eier in den Sand gescharrt habe, um diese ungeachtet der Wachsamkeit der Mutter zu fressen und sich damit die größten Verdienste um Menschen und Tiere zu erwerben.

Deshalb ist es auch begreiflich, daß die alten Ägypter dieses ausgewachsen unsere Hauskatze an Größe bedeutend übertreffende Tier als den Hauptfeind und Widersacher der gefürchteten Raubechse als Wohltäter der Menschen und Tiere Verehrung darbrachten. Aber ihre diesbezügliche Beobachtung, von der uns Herodot berichtet, ist unrichtig. Wohl ist das Ichneumon der größte Ausrotter der giftigen Schlangenbrut, aber an das Krokodil wagt es sich natürlich nicht heran. Richtig ist aber der Freundschaftsbund zwischen dem Krokodil und seinem Wächter, den Herodot folgendermaßen begründet: „Sobald das Krokodil auf das Land geht und daselbst, gegen den Wind gekehrt, mit offenem Maule liegt, dann schlüpft ihm der Trochilus hinein und frißt die Blutegel, die sich darin angehäuft haben. Da es sich über diese Dienstleistung freut, so verletzt es ihn nicht."

Nun ist die tatsächlich bestehende Freundschaft dieser beiden Tiere nicht sowohl auf das denn doch sehr problematische Wohlwollen der Echse begründet, als auf der Klugheit und Gewandtheit des Vogels, der sich vor der Heimtücke seines Gesellschafters sehr wohl in acht zu nehmen weiß. Gleich ihm Bewohner der Sandbänke, die das Krokodil zum Sichsonnen und Schlafen aufsucht, ist er mit den Gewohnheiten dieses blutgierigen Räubers von Jugend auf vertraut geworden und hat gelernt, wie er sich ihm gegenüber benehmen muß. Ohne Besorgnis sucht er deshalb von ihm die Egel, Würmer und andere Schmarotzer, die sich auf ihm niedergelassen haben, ab und wagt sich sogar daran, der Echse die zwischen den Zähnen hängen gebliebenen Futterbrocken zu holen. Das Geschrei, das er beim Anblick eines ihm fremdartig erscheinenden oder gefährlich dünkenden Wesens ausstößt, erweckt das schlafende Krokodil, um sich beizeiten einer etwaigen drohenden Gefahr zu entziehen oder wenn möglich Beute zu machen.

Solchen Freundschaftsbund können auch einzelne größere Vögel mit einer Schar kleinerer eingehen, denen sie Fürsorge und Schutz angedeihen lassen. So hat man in Weinbaugegenden vielfach die Beobachtung gemacht, daß, wenn sich im Herbste bei der Traubenreife die Stare in geschlossenen Trupps einfinden, um an den verlockenden

Digitized by Google

Trauben zu naschen, sie sehr oft von einer Rabenkrähe angeführt werden, welche in scheinbar selbstloser Weise Späherdienste ausübt. Bevor die Schar einfällt, kundschaftet sie das Terrain aus, ob kein Rebhüter in der Nähe sei, und erst wenn nichts zu befürchten ist, gibt sie der Gesellschaft ein Zeichen, daß diese herbeieilt, um sich nach Herzenslust an der süßen Frucht gütlich zu tun. Dabei wacht die Krähe auf einem erhabenen Punkte über die Sicherheit ihrer Freunde und warnt sie, sobald der Rebhüter oder sonst ein verdächtiger Mensch sich naht.

Bei solchen und ähnlichen Freundschaftsbeziehungen zwischen oft ganz verschieden gearteten Tieren muß sich offenbar eine eigentliche Zuneigung gebildet haben, der keine selbstsüchtigen Zwecke zugrunde liegen. Doch sind das große Ausnahmen, da die meisten Symbiosen auf krassem Egoismus beruhen. So wird z. B. vielfach zum Zwecke des Schutzes die junge Brut andern geschützten Tieren ohne deren Mitwissen anvertraut, oder sie sucht selbst dort Unterkunft. Zahlreiche Würmer und Krebse haben die Gewohnheit, ihre Eier im Innern des Kanalsystems von Schwämmen abzulegen. Noch überraschender ist der Instinkt des Bitterlings, Rhodeus amarus, unserer Teiche, dessen Weibchen die Eier mit langer Legröhre zwischen die Kiemenblätter der Teichmuscheln, Anodonta, legt, wo die junge Brut bis zur Aufzehrung des Nahrungsdotters verweilt. Umgekehrt heften sich die jungen, hakenbewaffneten Larven der Fluß- und Teichmuscheln bald nach ihrem Ausschwärmen an die Haut von Süßwasserfischen an, um an ihnen in einer pustelartigen Wucherung ihre Entwicklung zur fertigen, wenn auch noch sehr winzigen Muschel durchzumachen.

Zu den Paröken, d. h. denjenigen Tieren, die aus dem Aufenthalte in der Nähe anderer Vorteil ziehen, gehören in erster Linie die zahlreichen Bewohner der Korallenriffe, die Seeigel, Seesterne, Schlangensterne, Würmer, Krebse, Mollusken und Fische, die im Gewirr der vielverzweigten, kalkstarrenden Stöcke der Korallenpolypen neben reichlicher Nahrung vor allem auch Schutz gegen ihre Feinde finden. Zahlreiche von ihnen scheinen an dieses Zusammenleben mit den riffbildenden Korallen geradezu gebunden zu sein. Dahin gehören viele Schnecken und die sogenannten Korallenfische. Einen willkommenen Schlupfwinkel bieten sodann die durch nesselkapselbewehrte Senkfäden geschützten Schirme von Quallen und Wurzelquallen, die von noch kleineren Quallen, Krebsen und besonders jungen Fischen, wenn auch mit der nötigen Vorsicht, aufgesucht werden.

Weniger klar sind die Gründe, die den berühmten Lotsenfisch,

Digitized by Google

Naucrates, veranlassen, sich zum ständigen Gesellschafter der gefräßigen Haie zu machen. Wahrscheinlich gelangt er in ihrer Nähe leichter zu seiner Nahrung, die aus durch die Ungeheuer aufgeschreckten kleinen Fischen besteht. Ammern und Lerchen, Goldhähnchen und Meisen, Regenpfeifer und Strandläufer u. a. m. sind oft zu Schwärmen vereinigt. Mit den Herden der südafrikanischen Zebraarten finden sich stets auch Gnus vergesellschaftet, dazu nicht selten Springböcke, Buntböcke und Strauße, die wohl hier gegenseitigen Schutz suchen, indem die Wachsamkeit aller dieser teils scharfsichtigen Tiere, wie des hochbeinigen Straußes, teils vorzüglich witternder, wie der verschiedenen Wiederkäuer, den gemeinsamen Feind viel leichter und früher entdecken lassen, als wenn die Rudel der einzelnen Arten für sich gingen. Die Züge der Treiberameise Brasiliens werden von mancherlei Ameisenvögeln begleitet, die sich der von jenen aufgestöberten Raupen und Kerfe aller Art bemächtigen, gerade wie Hyänen, Schakale und Geier als Tischgenossen der größeren Raubtiere deren Beutereste verzehren. In sehr prosaischer Weise erklärt sich das Zusammenleben der Elfenbeinmöven mit den Robben, deren Kot sie fressen, während die Raubmöven, der Schmarotzermilan, der brasilische Geierbussard, der Fregattvogel und andere sich gern an andere Vögel heranmachen, um sie zu ängstigen und dadurch zu veranlassen, die eben erworbene, noch unverdaute Beute herauszuwürgen, um sich so leichter aus dem Bereich ihrer Quäler retten zu können.

Von höchstem Interesse ist die bereits erwähnte Symbiose zahlreicher, in sauerstoffarmem, stagnierendem Wasser lebender Tiere, wie Amöben, Infusorien, Schwämme, Polypen, Korallen, Quallen und Würmer mit Sauerstoff produzierenden grünen oder gelben einzelligen Algen, die sie in ihren Geweben unterbringen, um sich der von ihnen ausgeschiedenen Lebensluft aus erster Hand bemächtigen zu können. Es sind dies die eines selbständigen Lebens nicht mehr fähigen Chlorellen oder Zoochlorellen, die den Gewinn aus der geschützten Lage an der Körperoberfläche ihrer Wirte ziehen, indem sie die vom Tiere als Endprodukte des Stoffwechsels erzeugte Kohlensäure, die in dem stehenden Wasser auch beinahe fehlt, direkt den Geweben ihrer Wirte entnehmen, um daraus mit Hilfe der Energie der Sonnenstrahlen organische Substanz zu bilden, die dem mitzehrenden Tiere auch zu gute kommt. So vermochte man solche grünen, mit Chlorellen behafteten Tiere monate- ja jahrelang in destilliertem Wasser am Leben zu erhalten, während ihre nächsten, keine solche Symbionten aufweisenden

Digitized by Google



Weidende Zebraherde in der ostafrikanischen Massaisteppe am Fuße des Kilima Ndscharo. Ihr gesellen sich gewöhnlich die verschiedensten Antilopenarten, besonders Gnus und Springböcke, ebenso Strauße hinzu, um einen gegenseitigen Schutz durch die Wachsamkeit aller vor Überfällen durch Raubtiere oder den Menschen zu genießen. Nach unretouchierter Naturaufnahme von Karl G. Schillings. („Mit Blitzlicht u. Büchse“.)

Digitized by Google

Verwandten darin sehr bald an Hunger zugrunde gingen. Gegen ein Verdautwerden von seiten des Tierkörpers sind sie offenbar gefeit und haben von dieser Seite nichts zu befürchten.

Natürlich kann das Gedeihen der lichtbedürftigen Algen nur in solchen Tieren vor sich gehen, die eine durchsichtige Oberhaut besitzen und außerdem in oberflächlichen Wasserschichten, in welche das Licht noch gut einzudringen vermag, leben. Niemals findet man lebende Algen in Tieren, deren durch dunkle Pigmente gefärbte Oberhaut kein Licht in die innern Gewebe hineinscheinen läßt.

Dieser merkwürdigen gegenseitigen Anpassung entspricht auch vollkommen die Lebensweise der betreffenden Tiere. Geddes machte schon vor Jahren die Beobachtung, daß an der französischen Meeresküste im flachen Wasser lebende grüne Plattwürmer stets möglichst das Licht, und zwar hellen Sonnenschein aufsuchen, um den in ihrem Leibe lebenden Algen Gelegenheit zu geben, bei der intensiven Sonnenbestrahlung möglichst viel Stärke und Sauerstoff, die ja auch ihnen zu gute kommen, zu erzeugen. Wurden die betreffenden Tiere fortgesetzt im Dunkeln gehalten, so starben sie bald ab; das beweist aufs schlagendste, daß die Tiere in ihrem Gedeihen auf die Arbeit ihrer inneren Lebensgenossen durchaus angewiesen sind und ohne sie nicht mehr zu existieren vermögen.



Fig. 324. Entodermzelle einer grünen Seeanemone mit Flimmerhaar und in ihr eingebetteten Zoochlorellen. (Stark vergrößert.)

Während im Süßwasser fast nur die als Chlorellen bezeichneten einzelligen Abkömmlinge von Grünalgen in Symbiose mit den verschiedenen vorhin erwähnten Tieren leben, die von ihnen grün bis blaugrün gefärbt erscheinen, sind es im Salzwasser sehr oft auch Abkömmlinge von Braunalgen, kleine gelbe Kügelchen, die als Xanthellen oder Zooxanthellen bezeichnet werden. Solche Meeresbewohner sind namentlich die Radiolarien, welche dieselben in der die Zentralkapsel umgebenden Gallerthülle beherbergen, dann zahlreiche Seeanemonen, bei denen sie in den die Leibeshöhle auskleidenden Entodermzellen liegen, aber auch manche Schwämme, Medusen, Würmer, ja selbst Stachelhäuter, denen man wegen ihrer starren Hülle eine solche Symbiose mit Algen am allerwenigsten zutrauen würde.

Bei manchen Tieren lassen sich diese symbiotischen Pflanzenzellen aus dem Körper herausnehmen und von ihm isoliert kultivieren. So

Digitized by Google

hat man bei einigen Tierspezies, z. B. beim grünen Süßwasserpolypen, Hydra viridis, die bei diesen noch eines selbständigen Lebens fähigen symbiotischen Algenzellen isoliert und durch regelrechte Züchtung ihre Identität mit gewissen, auch sonst im Süßwasser verbreiteten Algen der Gattung Chlorella nachgewiesen. Auch leben die Algenzellen noch längere Zeit fort, wenn auch die betreffenden Tiere bereits abgestorben sind. Im übrigen lassen sich allerlei Abstufungen in der Ausbildung dieser Art Symbiose unterscheiden. So sind z. B. beim Süßwasserschwamme, Spongilla fluviatilis, durchaus noch nicht alle Individuen mit Algenzellen besetzt, so daß man grüne und gelbe Exemplare unterscheiden kann. Beim grünen Süßwasserpolypen, und noch mehr beim marinen Strudelwurm, Convoluta Roscoffiensis, sind sämtliche Exemplare der Art gleicherweise mit Algen infiziert, weil hier, im Gegensatz zu den Spongillen, ein Teil der Algen vom Entoderm aus bereits in die Eizellen der Wirtstiere einwandert, ehe dieselben den Körper verlassen. Aus diesem Grunde mußten natürlich alle Versuche, farblose Süßwasserpolypen aus den grünen durch Reinkultur aus Eiern zu gewinnen, erfolglos bleiben.

Während die Algenzellen vielfach noch ihre Selbständigkeit als Einzelindividuen bewahrt haben, geben sie diese in manchen Fällen, wie beispielsweise im Körper des vorhin erwähnten marinen Strudelwurmes, ganz auf und sinken zu einfachen Körperorganen der betreffenden Wirte herab, was sich schon daran erkennen läßt, daß sie ihre Cellulosehülle vollständig verlieren und als nackte Zellen im Gewebe des Wirtes eingebettet liegen, ganz so wie die Chlorophyllkörper sich in der Pflanzenzelle finden. Solche Symbiose mit Algenzellen kann natürlich nur bei das Wasser bewohnenden Tieren vorkommen. Bloß sehr vereinzelt hat sich eine solche Vereinigung bei luftatmenden Wesen vollziehen können, so beispielsweise im rauhaarigen Felle der die feuchten Urwälder Südamerikas bewohnenden Faultiere, in welchen meist zahlreiche grüne Algen als Epiphyten leben und den betreffenden, sich nur sehr langsam bewegenden Baumbewohnern durch die grünliche Farbe noch einen Schutz gewähren.

Ebenso zahlreich wie das zu gegenseitigem Nutzen hervorgebrachte Zusammenleben von Tieren ist auch ein solches von Pflanzen mit Tieren. Ein solches finden wir bereits bei den niedrig organisierten Lebermoosen mit ebenso tiefstehenden Rädertieren. So bildet beispielsweise bei uns das dendritisch verzweigte dunkelgrüne Lager der zu den Jungermanniaceen gehörenden Frullanien, die sich

Digitized by Google

flach an der häufig vom Regen benetzten Nordseite der Borke von Bäumen anpressen, eine regelrechte Ernährungsgenossenschaft mit Rädertierchen aus der Gattung Callidina. Diese Lebermoose zeigen unter den zwei oberflächlichen Reihen flacher, rundlicher Blätter zwei Reihen von urnenförmigen Gebilden, sogen. Amphigastrien, in welche sich je eine Callidina symbiotica einlogiert, um mit ihrem, aus dem von ihr besetzten Häuschen herausschauenden Räderorgane beim Überströmtwerden mit Regenwasser Infusorien, Bakterien, Algenzellen, Sporen und andere organische Stoffe zur Nahrung herbeizustrudeln. Die von ihr in die Becher ausgeschiedenen Exkremente kommen dann dem Lebermoose zugute; denn sie sind die einzige stickstoffhaltige Nährsubstanz, welche dem Pflänzchen an seinem anspruchslosen Standorte zur Verfügung steht. Deshalb ist für das betreffende Lebermoos das Zusammenleben mit dem Rädertierchen von höchstem Wert, so daß man sehr wohl begreifen kann, daß bei gewissen Lebermoosen Brasiliens diese urnenartigen Amphigastrien sogar völlig genau der Gestalt der sie bewohnenden Rädertierchen angepaßt sind.

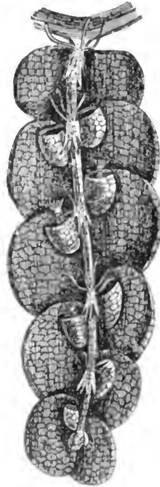


Fig. 325. Stück einer Jungermanniacee, Frullania dilatata, von der Borke eines Ahornbaumes bei ziemlich starker Vergrößerung. Auf dieser der Borke aufliegenden Seite befinden sich die Amphigastrien; aus drei derselben strecken die Rädertiere der Gattung Callidina symbiotica ihre Räderorgane heraus, mit denen sie die Nahrung herbeistrudeln. (25fach vergrößert.)

Diese Ernährungsgenossenschaft kommt beiden Gesellschaftern gleicherweise zugute. Wie das Rädertierchen das Lebermoos mit stickstoffhaltigen Nährsalzen versieht, so bietet letzteres dem ersteren dafür eine gesicherte, angenehme Wohnung und den vom assimilierenden Gewebe der Pflanze abgeschiedenen Sauerstoff als willkommene Lebensluft an. Bei trockenem Wetter allerdings, wenn die Baumborke unter der Sonnenglut austrocknet, geht es den beiden Kompagnons schlecht genug; aber, fallen sie auch durch Wassermangel in Scheintod, so hat das für sie durchaus nichts zu bedeuten, da sie wie alle niedrig organisierten Lebewesen mit der glücklichen Eigenschaft begabt sind,

Digitized by Google

selbst nach Monaten der Anabiose bei Befruchtung zu neuem Leben zu erwachen und die jäh unterbrochene Lebenstätigkeit fortzusetzen. Der bereits mehrfach erwähnte Botaniker A. Kerner nahm im Jahre 1885 ein mit Frullanien besetztes Borkenstück von einem mächtigen Bergahorne am Grundelsee in Steiermark mit sich nach Wien, um es dort in einem Glasschranke aufzubewahren. Als er dann fünf Jahre später, im Jahre 1890 diese ausgetrockneten Rindenstücke im Wasser aufweichte und unter dem Mikroskope untersuchte, fand er nicht nur die Lebermoose, sondern auch alle in deren Amphigastrien steckenden Rädertierchen zu neuem Leben erwacht und ihre Strudelorgane zur Beschaffung der so lange entbehrten Nahrung eifrig spielend, als ob sich in den fünf inzwischen vergangenen Jahren nichts besonderes mit ihnen ereignet hätte.

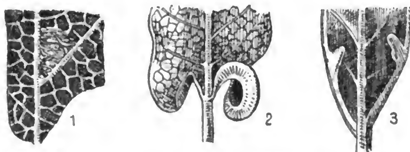


Fig. 326. Acarodomatien oder Milbenhäuschen: 1 von der Unterseite eines Lindenblattes (schwach vergrößert), 2 an einem Eichenblatt, 3 an einer Stechpalme (natürliche Größe). Nach Francé.

Eine weitere weitverbreitete Symbiose ist diejenige gewisser blattbewohnender Milben, Eriophyes, mit vielen Holzgewächsen, wozu alle Cupuliferen oder Becherfrüchtler, wie Buche, Eiche, eßbare Kastanie, dann Linde, Ulme, Erle, Ahorn, Stechpalme, Haselstrauch, die Familien der Oleaceen oder Ölbaum- und Lauraceen oder Lorbeerbaumgewächse, der der Rubiaceen oder Krappgewächse, sämtliche Bignoniaceen oder Trompetenblumen, meist windende oder kletternde Holzgewächse der Tropen, und zahlreiche andere gehören. Diese alle bilden auf ihren Blättern sehr verschiedenartige kleine Verstecke und Zufluchtsorte aus, die ausnahmslos von Milben bewohnt werden und deshalb die Bezeichnung Acarodomatien oder Milbenhäuschen erhielten. Sie bestehen teils aus dichten Haarschöpfen in den Winkeln der Nerven auf der Blattunterseite, wie bei den Linden, Erlen, Ulmen, Ahornen und Haselnüssen, teils aus Umbiegungen der Blattränder beziehungsweise deren Zähne, wie bei den Eichen, teils endlich aus kleinen Grübchen oder Täschchen mit und ohne Haarbildung, wie beim Kaffeebaum, manchen Kreuzdorn- und Geißblattarten. Ausnahmsweise können diese Täschchen auch außerhalb der Blätter an bestimmten Orten, so unter

Digitized by Google

den vertrockneten Kelchblättern oder an der Frucht, wie bei den Johannis- und Stachelbeeren errichtet werden.

Alle diese milbenfreundlichen Bäume erbauen die für sie charakteristischen Milbenhäuschen aus eigenem Antrieb für ihre Gäste. Sie sind eben völlig an die Symbiose mit diesen Tierchen gewöhnt. Hauptsächlich vom schwedischen Forscher Lundström in Upsala unternommene Versuche ergaben, daß die Milben bereits auf den Keimpflanzen wie an den Samen der akarophilen Gewächse vorhanden sind. Aber auch wenn sie künstlich von den betreffenden Pflanzen abgehalten werden, bildet die Pflanze trotzdem vorsorglich Milbenhäuschen, als ob sie die für sie selbstverständlichen Logiergäste erwarte.

Man kann sich ihre Bildung dadurch erklären, daß wohl ursprünglich die von Milben besiedelten Blätter durch den Reiz dieser auf ihnen herumkrabbelnden Tierchen haarartige Wucherungen oder Umkrempelungen der Blattränder erzeugten, deren Bildung später erblich wurde, auch ohne daß sich Milben darauf einstellten. Diese Vermutung findet eine gewisse Bestätigung in der Tatsache, daß bei manchen noch nicht ganz an diese Symbiose mit Blattmilben angepaßten Pflanzen die Milbenhäuschen erst dann errichtet werden, wenn diese Tierchen ein Blatt besiedelt haben. Manchmal beseitigt sie die Pflanze aber auch, wenn die Bewohner, für die sie bestimmt waren, ausstarben und damit diese Zufluchtsstätten zwecklos wurden.

In warmen Sommernächten oder schwülen wolkenverhüllten Tagen brechen diese flinken, kleinen Wesen in Scharen aus ihren Schlupfwinkeln, in die sie sich während des grellen Sonnenscheins zurückzogen, hervor, um über das ganze Blatt, den Nerven entlang und über die Fläche nach für sie Eßbarem zu suchen. Dabei säubern sie es von allem darauf gelangten staubförmigen Unrat, der ganz wesentlich aus Pilzkeimen besteht, die die Atmungsporen verstopfen oder das Blatt gar infizieren könnten. Neuerdings meinen einige Forscher, daß der Hauptnutzen dieser merkwürdigen Symbiose nicht sowohl in der beständigen Reinigung der mit Atmungsporen durchsetzten Blattseiten, als vielmehr in der Düngung durch den Kot dieser kleinen Symbionten zu suchen sei. Dieser stickstoffhaltige Unrat ist natürlich eine wertvolle Aquisition der Pflanze, die fast niemals genug davon bekommen kann. Auch ist es nicht ausgeschlossen, daß es sich daneben um einen Schutz gegen gewisse, uns vorläufig noch unbekannte winzige Tiere handelt, die das Blatt irgendwie gefährden könnten.

Das helle Tageslicht vertreibt diese lichtscheuen Tiere in ihre

Digitized by Google

Schutzhäuschen, deshalb sehen wir für gewöhnlich nichts von ihrem Tun und Treiben. Sobald die Sonne erscheint, verkriechen sie sich in ihre dunkeln Schlupfwinkel, um erst wieder mit anbrechender Nacht ihr geschäftiges Leben frisch aufzunehmen, das den ganzen Sommer über dauert. Im Herbste jedoch, bevor noch die Blätter abfallen, werden ihre Zufluchtshäuschen unbrauchbar, indem die Schutzhaare sich zurückbiegen. Das will bedeuten, daß die Pflanze sie nicht mehr braucht. Notgedrungen verlassen nun die Milben die Blätter, auf denen sie sich den ganzen Sommer über aufhielten, um in Borkenrissen der Zweige und des Stammes oder an Früchten oder unter den Hüllschuppen der sich vorbereitenden Knospen schützende Schlupfwinkel für den Winter zu suchen.

Sobald sich im Frühjahr die jungen Blätter entfaltet und die Milbenhäuschen errichtet haben, kommen auch die Gäste aus ihren dumpfen Winterquartieren zum Vorschein, um die luftigen Sommerhäuser, die die Pflanze vorsorglich für sie errichtete, zu beziehen. Bald halten sie auch Hochzeit, legen nach der Befruchtung ihre Eihäuschen ab, um dann zugrunde zu gehen und ihren sich rasch entwickelnden Nachkommen das Feld zu räumen. Und diese beginnen bald ihre gesundheitspolizeiliche und düngende Tätigkeit zu Gunsten der Pflanze, die ihnen solche Gastfreundschaft erweist.

Verwandt mit diesen Milben sind die Gallmilben, die für ihre Nachkommen in anderer Weise sorgen, indem sie ihnen zur Wohnung und gleichzeitig auch als nahrhafte Beköstigung besondere Auswüchse an den von ihnen zur Kinderwiege bestimmten Pflanzenblättern oder jungen Trieben erzeugen. Außer solchen Milben sind aber noch sehr zahlreiche andere, meist beflügelte kleine Insekten, besonders Wespen und Fliegen, die als Gallwespen und Gallmücken bezeichnet werden, sowie verschiedene Kleinschmetterlinge, Blattläuse, Rindenläuse und Fadenwürmer Gallenerzeuger. Jeweilen sind es bestimmte, von den mütterlich um ihre Nachkommenschaft bekümmerten kleinen Tieren mit dem Speichel oder mit dem Legbohrer an der Hinterseite des Leibes abgesonderte Fermente, welche an den betreffenden Pflanzenteilen diese als Gallen bezeichneten Wucherungen erzeugen. Greifen wir von den vielen Tausenden, die wir kennen, nur eine heraus, um an ihr die Entwicklung zu einer solchen abnormen Pflanzenbildung zu illustrieren.

An der Oberseite von Lindenblättern bilden sich durch den Stich der winzigen, jeweilen ein Ei mit der Legröhre darin ablegenden

Digitized by Google

Mücke, Oligotrophus Reaumurianus, eigentümliche Zellwucherungen, die je einen immer größer werdenden Hohlraum einschließen, in denen die inzwischen aus dem Ei gekrochene Larve eine geschützte Behausung und zudem Nahrung in Fülle findet. Den Anforderungen des sich in ihr regenden Lebens entsprechend wächst die Galle heran, das die Pflanze um das ihr anvertraute Tierjunge bildet, bis sie Ende Juli ihre volle Größe erreicht hat. Dabei bildet sich außer der Innengalle eine besondere, sie unten umfassende Außengalle, die sie trägt wie die Cupula, das Becherchen, die Eichel. Nun macht sich im August die Pflanze daran, sich ihrer anspruchsvollen Gäste zu entledigen. Die pfropfenförmige Innengalle erhärtet vollkommen und trennt sich immer mehr von der Außengalle. Letztere bleibt weich, und indem das feine Maschenwerk ihrer Zellen immer mehr aufquillt, wird die harte Innengalle, in welcher die Mückenlarve wohlgeborgen ruht, herausgedrückt und fällt zu Boden. Bald darnach fallen auch die Blätter mit den auf ihr zurückbleibenden Becherchen vom Baume, der damit seine Vorbereitungen für die Winterruhe trifft.

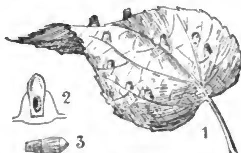


Fig. 327. 1 Lindenblatt mit den Gallen der Mücke Oligotrophus Reaumurianus, 2 Galle derselben durchschnitten mit der Made, 3 die herausgefallene Innengalle.

Am Boden ruhen nun die bereits völlig ausgewachsenen Larven der Gallmücke in ihren festen Schreinen eingeschlossen und von den wärmenden Blättern des gastlichen Baumes bedeckt in einer Art Scheintod, bis sie gerade zur rechten Zeit mit den wärmeren Frühlingstagen zu neuem Leben erwachen und ihre Bestimmung erfüllen. Schon im Herbste, bevor sie noch die Winterruhe antraten, nagten sie an dem dünneren Deckel ihrer festen, reich mit Sauerstoff versehenen Behausung eine kreisförmige Furche aus. Nun braucht es vom erwachsenen Insekt, das seine Kinderwiege verlassen möchte, im Frühjahr nur noch geringe Anstrengungen, um den kegelförmigen Deckel abzuheben und ans Tageslicht zu treten. Alsbald fliegt die kleine, nunmehr geschlechtsreif gewordene Mücke davon, um eine andersgeschlechtliche Genossin zu finden und mit ihr Hochzeit zu feiern. Und nach erfolgter Befruchtung beginnt das Weibchen, wie es ihre Stammütter seit Millionen von Jahren getan, von einem für unsern Verstand ganz unerfaßlichen Instinkte getrieben gerade wiederum die Blätter der großblätterigen Linde, auf der es selbst groß wurde, aufzusuchen, um seine Eier in deren

Blätter abzulegen. Und diese vollenden Jahr für Jahr dieselbe Entwicklung.

Jedes gallenbildende Tier hat nicht nur sein besonderes Ferment, sondern seine bestimmte Wirtspflanze, die es immer wieder aufsucht, ohne sich je in der Art zu täuschen, als hätten diese winzigen Lebewesen zu diesem Zwecke spezielle Botanik studiert. Dabei gibt es sehr gastfreie Pflanzen, die nicht nur eine Gallwespe oder Gallmücke beherbergen, sondern deren oft in verschiedenen Arten in großer Zahl Aufnahme gewähren. So haben beispielsweise unsere Eichen nicht weniger als 60 Galleninsekten, die zu ihren regelmäßigen Kunden zählen und denen sie in bereitwilliger Weise schützende Behausung und zugleich Nahrung in Fülle gewähren. Was sind solche Bäume nicht für ehrwürdige Herbergsväter, die nicht nur Tausenden, sondern Millionen von Tieren der verschiedensten Art jahraus jahrein in selbstloser Weise treffliche Unterkunft und Beköstigung bieten!



Fig. 328. Die Entwicklungsstadien einer Kammergalle. Das auf das Blatt abgelegte Ei wird allmählich umwallt, dadurch entsteht eine Larvenkammer, in der die Insektenlarve die hellgehaltene Nährschicht abweidet.

Wie solche, von Tieren ausgeschiedene Fermente gallenbildend wirken, wirken sie an besonderen Trieben der Pflanze umbildend auf die von ihr betroffenen Zellengruppen. Der von ihnen ausgehende Reiz führt nicht nur zu Wucherungen oft der absonderlichsten Art, sondern er übt gelegentlich auch andere Wirkungen aus. So sind vielfach gefüllte Blüten merkwürdige Erzeugnisse solcher fermentabsondernder Gallmilben und -Mücken. Besonders an Alpenrosen, Baldrian, Ehrenpreis und andern sind durch solche schon mehr an Schmarotzer erinnernde Symbionten gefüllte Spielarten entstanden. Sollten solche sich gelegentlich als erblich erweisen, so sind damit neue Arten entstanden. So merkwürdig arbeitet die Natur an der Umformung ihrer Geschöpfe!

Von der Symbiose der verschiedenen Tiere, besonders der geflügelten Kerfe, Fliegen, Bienen, Hummeln, Wespen und Falter mit den Blütenpflanzen, deren Befruchtung sie besorgen, und die wunderbaren dabei stattfindenden Anpassungen, ist bereits eingehender berichtet worden, so daß wir darüber hinweggehen können. Auch hier ist vielfach die Blüte einer Art an einen ganz besondern Pollenüberträger gebunden, deren allfälliges Aussterben auch den Untergang der speziellen

Digitized by Google

an ihn angepaßten Pflanze zur Folge hat, wenn sie nicht als letzten Ausweg die Selbstbefruchtung oder die Fortpflanzung der Art durch Sprossung und Ableger zu bewerkstelligen vermag. Welch besondere Anpassungen dabei stattfinden können, sollen zwei Beispiele erläutern: Die verschiedenen Yuccaarten werden in ihrer Heimat Amerika von ganz besondern Motten befruchtet. Wenn sich ihre weißen Blüten abends öffnen, so umflattern sie in der Dämmerung und in mond- oder sternenhellen Nächten kleine, gelblichweiße, im Mondscheine metallisch schimmernde Mottenweibchen der Gattung Pronuba yuccasella. Sie suchen in das Innere der weit geöffneten Glocken zu gelangen und beginnen sich dort zunächst des Pollens zu bemächtigen, aber nicht um ihn zu verzehren, sondern um ihn fortzuschleppen. Dazu besitzen sie einen stark verlängerten Kiefertaster, der an der Innenseite mit steifen Borsten besetzt ist und wie ein Rüssel eingerollt werden kann. Damit ergreifen sie eine möglichst große Menge des goldgelben klebrigen Pollens, um ihn zu einem Ballen zu formen, den sie an der untern Seite des Kopfes durch die eingerollten Kiefertaster festhalten. Mit diesem Ballen, der mitunter dreimal so groß ist als der Kopf, verläßt das Mottenweibchen die eine Blüte, um sofort eine zweite aufzusuchen. Hier angelangt sucht sie mit der Legröhre einen günstigen Punkt an der Seite des Stempels zu erreichen und setzt dort ihre Eier ab, wonach sie den aus vier hornartigen Borsten zusammengesetzten Eierleger zurückzieht.



Fig. 329. Yuccablüte, deren drei vordere Blätter entfernt wurden, mit der den Pollen in die Narbe stopfenden Yuccamotte, Pronuba yuccasella.

Alsdann eilt sie zur Spitze der trichterförmig vertieften Narbe und rollt dort ihre rüsselförmigen Kiefertaster auf, um den Pollen in den Narbentrichter hineinzustopfen, indem sie dabei wiederholt nickende Bewegungen mit dem Kopfe ausführt. Es wird angegeben, daß dieselbe Motte in derselben Blüte das Eierlegen und das Ausstopfen der Narbe mit Pollen abwechselnd mehrmals wiederhole.

Die meisten in den Stempel eingeführten Eier werden in der Nähe der Samenanlagen abgesetzt. Dort wachsen die Embryonen rasch heran und je nach der Witterung kriechen schon nach vier bis fünf Tagen die Räupchen aus, die sogleich daran gehen, die Samenanlagen in der Höhle des Fruchtknotens zu verzehren. Jede Raupe braucht im Laufe ihrer Entwicklung 18—20 Samen zu ihrer Ernährung. Ist

Digitized by Google

sie ausgewachsen, so beißt sie ein Loch in die noch saftige Wand des Fruchtknotens, um durch dieselbe nach außen zu kriechen und sich an einem selbstgesponnenen Faden auf den Boden hinunterzulassen. Hier bohrt sie sich in die Erde ein und spinnt unterirdisch einen eiförmigen Kokon, in welchem sie bis zum nächsten Sommer verbleibt. Vierzehn Tage vor Beginn der Blütezeit der Yucca verpuppt sie sich, und sobald deren Blüten sich öffnen, schlüpft die silberglänzende Yuccamotte aus ihrer Puppenhülle hervor.

Um nun die Beziehungen zwischen diesen beiden aufeinander angepaßten Wesen besser zu begreifen, muß hier gesagt werden, daß die Yucca durch zufällig auf die Blüte geflogene Insekten nicht befruchtet werden kann. Nur die Weibchen der Yuccamotte können dies tun, sonst geht die Fruchtanlage unfehlbar zugrunde. Hält man sie etwa durch Umhüllen mit Schleiergaze von den Blüten ab, so verkümmern tatsächlich alle Fruchtanlagen. Auch in Gärten, in denen die Yuccamotten fehlen, unterbleibt an den dort gepflegten Stöcken regelmäßig die Fruchtbildung. Von Kalifornien nach Europa gebrachte Exemplare sind hier vollkommen steril, da eben die betreffenden Yuccamotten fehlen. An gewissen Arten, z. B. an Yucca gloriosa, hat überhaupt noch niemand Früchte gesehen, weder an ihrem ursprünglichen Standorte, noch in Gärten. Daraus kann man mit Sicherheit schließen, daß die zu ihrer Art gehörige Motte ausgestorben ist. Infolgedessen trägt diese hübsche Pflanze keine Früchte mehr und kann nur vegetativ vermehrt werden.

Da nun die Raupen der Yuccamotte ausschließlich von den jungen Samen der von ihr heimgesuchten Yuccaart leben, so gibt ihr ein uns völlig unbegreifliches Etwas, das wir Instinkt nennen, das ist ein Trieb, welcher der Erhaltung des Lebens dient und seinem ersten Antriebe nach stets unbewußt eintritt, aber im letzten Grunde nur eine Art durch Vererbung fixiertes überlegtes Handeln bedeutet, ganz richtig ein, daß sie den Pollen in die hohle Narbe der von ihr mit Eiern belegten Yuccablüte stopfen müsse, damit die Samenanlagen befruchtet werden und zu wachsen anfangen und so die bald ausschlüpfenden Raupen, ihre Kinder, den zu ihrem Gedeihen nötigen Unterhalt finden und die Art erhalten können. Es ist derselbe merkwürdige Instinkt, der in den abgelegenen Gebirgstälern, wo sich nur wenig Gemüsegärten bei den weit zerstreut stehenden Gehöften finden, die Weibchen des Kohlweißlings stundenweit herumfliegen läßt, bis sie schließlich Kohlpflanzen ausfindig machen, auf deren Blätter sie ihre Eier ablegen, und alle

Digitized by Google

die Tausende von Wundertaten zustande bringt, die uns überall in der Schöpfung entgegentreten, wenn das Verständnis dafür in uns erwacht ist.

Wohl fressen die Raupen der Yuccamotte eine ziemliche Zahl der durch die von ihrer Mutter geübte Befruchtung der Blüte hervorgerufenen Samen. Da aber in einem Fruchtknoten etwa 200 Samenanlagen vorhanden sind, so hat es weiter nichts zu bedeuten, wenn durch die darin auskriechenden Raupen auch die Hälfte oder gar zwei Drittel derselben verzehrt werden. Immer bleibt eine genügende Zahl unverzehrter Samen übrig, welche nach vollendeter Reife ausgestreut werden können, während ohne Dazwischenkunft der Motte kein einziger keimfähiger Same entstanden wäre.

Noch merkwürdiger als das Verhältnis der Yuccapflanze und der mit ihr zusammenlebenden Motte ist jenes zwischen den Feigenbäumen und gewissen kleinen Wespen aus der Gruppe der Chalcidier. Der in Südeuropa vielfach gepflanzte gewöhnliche Feigenbaum, Ficus carica, kommt in zweierlei Stöcken vor: 1. in solchen, deren zu einer geschlossenen Urne umgelegten Sammelblüten nur Fruchtblüten enthalten und 2. solche, welche in ihren Blütenurnen zunächst an der Mündung mit Pollenblüten, weiter abwärts jedoch mit sterilen, zu Gallen umgewandelten weiblichen Blüten, sog. Gallenblüten besetzt sind. Die ersteren sind unter dem Namen Ficus, die letzteren aber unter dem Namen Caprificus, d. h. Bocksfeige, bekannt. Schon die alten Römer kannten diese Blütenstände und wußten, daß der Feigenbaum keine oder nur ganz spärliche unschmackhafte Früchte hervorbringe, wenn man nicht Zweige der Bocksfeige an ihm aufhinge.

Die Bedeutung der letzteren ist folgende. Die Blüten der Bocksfeige sind im Grunde in die erwähnten Gallenblüten umgewandelt, d. h. in solche, die keine Früchte, sondern Gallen hervorbringen, die als Wiegen für die Brut der winzigen Gallwespe, Blastophaga grossorum, dienen. Ihre Umwandlung hiezu geschieht auf folgende Weise. Fühlen die Weibchen derselben ihre Mutterschaft herannahen, so kriechen sie in die Bocksfeigen hinein und legen vor der Blütenentfaltung in die vorhin erwähnten verbildeten weiblichen Blüten je ein Ei, indem sie den Legestachel senkrecht in den Griffelkanal einer Blüte einführen und das Ei in der Nähe des Kernes der Samenanlage absetzen. Die kleine weiße, fußlose Larve, die sich daraus entwickelt, nimmt rasch an Umfang zu und füllt alsbald den Fruchtknoten ganz aus, die Samenanlage dagegen geht zugrunde. Der Fruchtknoten ist damit zur Galle geworden.

Digitized by Google

Wenn die kleinen Wespen ausgereift sind, verlassen sie die Gallen. Die flügellosen Männchen schlüpfen zuerst aus, und zwar durch ein Loch, welches durch das Zerbeißen der sie beherbergenden Galle erzeugt wurde. Die Weibchen bleiben noch eine Zeitlang in ihrer Galle und werden dort durch die Männchen befruchtet. Erst nachdem dies geschehen ist, schlüpfen sie aus, halten sich jedoch nur kurze Zeit im Hohlraume der Urne auf, suchen vielmehr sobald als möglich aus der Urne hinaus ins Freie zu gelangen. Sie klimmen daher zu der Urnenmündung empor, wobei sie unausbleiblich beim Hindurchzwängen durch die eben stäubenden Pollenblüten sich ihren ganzen Körper damit beladen. An die Außenseite der blühenden Feige gelangt lassen sie zunächst ihre Flügel trocknen und laufen dann, selten fliegen sie, zu anderen Urnen desselben Stockes oder benachbarter Feigenstöcke hin. Dabei suchen sie ausschließlich diejenigen Urnen auf, welche sich in einem jüngern Entwicklungsstadium befinden, um dort ihre Eier in die Fruchtknoten zu legen. Sie laufen den Urnenmündungen zu und schlüpfen zwischen den dort befindlichen Schüppchen in das Innere. Bei dieser Gelegenheit werden bisweilen die Flügel verletzt, ja es kommt vor, daß die Flügel ganz abbrechen und zwischen den Blättchen der Urnenmündung stecken bleiben.

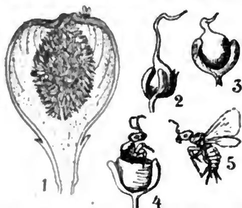


Fig 330. 1 Urnenförmiger Blütenstand der Feige von aus Gallen ausgeschlüpften Feigenwespen besucht, 2 langgrifflige Fruchtblüte der Feige, 3 die aus einer kurzgriffligen Fruchtblüte hervorgegangene Galle, 4 eine Feigenwespe aus einer Galle ausschlüpfend, 5 die Wespe vergrößert.

Im Innenraum der Urne angelangt machen sich die Wespen sofort ans Eierlegen. Überall, wohin sie dringen mögen, streifen sie den mitgebrachten Pollen an die befruchtungsfähigen Narben ab und befruchten dadurch die weiblichen Blüten. Stechen sie auch normale Fruchtblüten mit ihrem Legestachel an, in der Absicht, ihre Eier in deren Fruchtknoten zu legen, so gelingt ihnen dies nicht, da der Griffel dieser zu lang beziehungsweise ihr Legestachel zu kurz ist, um zum Fruchtknoten zu gelangen. Nur die Gallenblüten dieser Feigenart haben so kurze Griffel, daß es an ihnen gelingt, die Eier an die Fruchtknoten abzulegen. Gelangt auch Pollen auf ihre verkümmerten Narben, so ist er wirkungslos und treibt keine Pollenschläuche. Letzteres hätte auch gar keinen Zweck, da aus diesen Gallenblüten so wie so keine Samen

Digitized by Google

hervorgehen, weil an ihrer Stelle die Eier der Wespe gelegt werden, deren Gedeihen für das Entstehen von Feigenfrüchten und damit die Fortpflanzung der Art für den Feigenbaum absolut nötig ist.

Heutzutage, da in Italien die Feigen nicht mehr aus Samen, sondern aus Stecklingen gezogen werden, ist übrigens die als Kaprifikation bezeichnete Methode des Hängens von Urnen des Caprificus an solche des Ficus, die schon die Römer übten, zwecklos geworden, da die Feigen nun durch Kulturveredlung auch ohne Befruchtung der Samen süß und saftig werden. Aber trotzdem wird noch im ganzen Lande diese althergebrachte Sitte ausgeübt, in der Meinung, daß die Feigen besser werden. Das Volk kennt eben die Bedeutung dieses alten Gebrauches nicht mehr und setzt sein altgewohntes Handeln beharrlich fort, obschon es heute ganz sinnlos ist.

Aber nicht nur bei der Befruchtung der Blüten, auch bei der Ausstreuung der Samen nehmen die Pflanzen vielfach die Mithilfe von Tieren in Anspruch und tragen hiefür in sehr vielen Fällen bei der Ausbildung der Früchte die nötige Fürsorge. Bereits die niedrigsten Pflanzen, die unscheinbaren Kryptogamen, lassen gelegentlich ihre Sporen durch Insekten verschleppen. Dabei sorgen sie teilweise auch schon durch süße oder sonstwie den Insekten angenehme Lockspeise diese zur Samenverbreitung an sich zu locken. So ist der mit Recht vom Landmann so sehr gefürchtete Honigtau der Kornfelder eine süße Ausscheidung eines besonders in der Roggenblüte schmarotzenden Pilzes, Claviceps purpurea, der später zum sogenannten Mutterkorn, den bekannten, violettbraunen bis schwarzen Hörnchen auswächst. Im klebrigen Sirup, den er auf der Roggenblüte zur Anlockung der Insekten verschiedenster Art ausscheidet, schwimmen seine Sporen, die eben durch diese seine Gäste auf andere Roggenblüten übertragen werden sollen.

Eine ganze Anzahl von Hutpilzen, besonders der warmen Länder, bildet neben mißfarbig roten, nach faulendem Fleisch aussehenden Schauapparaten auch einen starken Aasgeruch dieser ihrer Sporenträger aus, um mit dem als Nahrung ausgebotenen Schleim auch die darin eingebetteten Sporen durch die sich bei ihnen zum leckeren Male einfindenden aasliebenden Käfer und Fliegen verbreiten zu lassen.

Besonders auffallende Schauapparate zur Insektenanlockung bilden einige Stinkmorcheln aus. So entwickelt eine als „Dame mit dem weißen Schleier“ bezeichnete Art Brasiliens bei ihrem Aufblühen abends, wenn die Aasinsekten besonders auf die Nahrungssuche ausgehen, in ganz kurzer Zeit mit einigen ruckförmigen Bewegungen ein sehr zier-

Digitized by Google

liches Netz weißschimmernder Maschen unter dem kleinen Hute. Dieses Netz ist über und über mit einem klebrigen, die Sporen enthaltenden Schleime bedeckt, der gleichzeitig einen für menschliche Geruchsorgane unausstehlichen Fäulnisgeruch ausströmt, der aber eben die aasliebenden Insekten, auf die es die Pflanze abgesehen hat, in Scharen herbeilockt, da er über 100 m weit zu riechen ist und von den mit äußerst feinen Geruchsorganen begabten Insekten jedenfalls noch viel weiter gerochen wird. Geschäftig kommen sie von allen Seiten herbeigeströmt, um sich an der vermeintlichen Leiche gütlich zu tun oder ihr gar ihre Eier anzuvertrauen. Bei letzterem Vorhaben fallen sie allerdings gründlich hinein, aber das ist der Stinkmorchel, die sich so zierlich kleidet und dabei ihre Liebhaber so gewissenlos narrt, ganz gleichgültig. Wenn ihre Gäste sich nur mit dem sporenhaltigen Schleime besudeln und dabei die darin steckenden Sporen weitertragen, so ist ihr Zweck erreicht. Diese abends in der Dämmerung so zierlich erblühte und in der dunkeln Nacht, zum besseren Gesehenwerden von ihren Gästen, in wunderbar phosphorescierendem Lichte erstrahlende Pilzblume erlischt mit dem anbrechenden Morgen und fällt alsbald in sich zusammen. So läßt der anhebende Morgen von ihr nur ein Häufchen mißfarbigen, mit Sporen bedeckten Schleimes übrig, an dem sich noch Käfer und Schnecken gütlich tun. Mit dieser berühmten brasilianischen „Pilzblume" verwandte europäische Arten, wie z. B. der in den Mittelmeerländern und in Südengland wachsende Clathrus cancellatus erzeugen statt des märchenhaft phosphorescierenden weißen Schleiers ein fast faustgroßes, nicht minder herrliches, scharlachrotes Gitterwerk, das ebenso von scheußlich nach Aas duftendem, weithin zu riechendem, sporenhaltigem Schleime bedeckt ist.

Bei den Phanerogamen sind die Mittel zur Anlockung der tierischen Verbreiter der betreffenden Samen schon viel ästhetischer, der höheren Stellung ihrer Erzeuger im Pflanzenreiche entsprechend. So sind sehr zahlreiche Samen derselben zu Früchten umgebildet, die ein schmackhaftes und nahrhaftes Fruchtfleisch besitzen, um sie durch die infolge ihres außerordentlich regen Stoffwechsel stets hungrigen Vögel überallhin verschleppen zu lassen. Damit nun der im Fruchtfleisch eingeschlossene Samen nicht durch die ätzende Wirkung des im Kropf des Vogels abgesonderten, auflösenden und verdauenden Saftes oder durch die sehr energisch mahlende Tätigkeit des mit harter Hornschicht und mit Zuhilfenahme von verschluckten Steinchen arbeitenden Muskelmagens gefährdet sei, ist er in der Regel in einen äußerst widerstands-

Digitized by Google

fähigen verholzten Mantel eingeschlossen, der uns als Fruchtstein entgegentritt. In ihm ist der Keimling, wenn auch ein Vogel ihn verschluckt, aufs beste gegen alle ihm im Verdauungskanal desselben, wie auch in der Außenwelt drohenden Gefahren geschützt. Vollkommen intakt verläßt er den Verdauungskanal seines Zwischenträgers und Verbreiters, sei es daß letzterer den Fruchtstein als gänzlich unverdaulich mit dem Gewölle erbricht oder ihn mit den Exkrementen später von sich gibt.

Ja, in vielen Fällen ist das Gefressenwerden von seiten eines Vogels der Keimfähigkeit der in Steinkerne eingeschlossenen Samen nicht nur nicht schädlich, sondern geradezu nützlich, indem das Passieren durch den Verdauungskanal des die Frucht verzehrenden Vogels die Keimfähigkeit bedeutend erhöht. So werden die Weißdornfrüchte von den Gärtnern mit Vorliebe an Truthühner und andere Vertreter des Hühnerhofes verfüttert, um recht leicht keimenden Samen zu erhalten. Akaziensamen werden speziell Gänsen zum Verdauen übergeben; bei den Gewürznelken hält man es ebenso, wenn der Mensch nicht in Ermangelung solchen Federviehs es vorzieht, seinen eigenen Darmkanal für die Vorbereitung dieser Samen zum Keimen zu benützen, wie es mancherorts in holländisch Indien geschieht. So haben die lebensfrohen, nicht nur über gute Stimmen, sondern auch über sehr scharfe Augen verfügenden Vögel, die allergrößte Bedeutung für die Ausbreitung der Samen der zahlreichen Pflanzen, die in ihrer Fortexistenz geradezu auf diese Tiere angewiesen sind, deren Naschhaftigkeit und Gefräßigkeit sie vielfach überhaupt ihre weite Verbreitung verdanken.

In dieser Weise haben wir den Vögeln, für die ja, und nicht für uns Menschen, solche Leckerbissen als Lockmittel von den betreffenden Pflanzen geschaffen wurden, die Ausbildung der mancherlei nicht nur wohlschmeckenden, sondern auch angenehm duftenden und oft in den herrlichsten Farben leuchtenden Beeren und eßbaren Früchte aller Art zu verdanken. Um ihre Früchte, die sie den Vögeln zum Verbreiten anvertrauen, vor deren Reife vor diesen stets hungrigen Tieren zu schützen, sorgen die betreffenden Pflanzen in jeder Weise dafür, daß diese vor der gänzlichen Reife der Samen ihnen nichts weniger als begehrenswert erscheinen. Nicht nur sind alle diese Früchte bis zu ihrer vollen Reife unscheinbar grün gefärbt, wie das Laub, unter dessen Schutz sie heranreifen, sondern die fleischigen Teile der Frucht, auf die es die Vögel gerade abgesehen haben, sind infolge eines reichen Gehaltes an bitteren und giftigen Glykosiden so lange herb und un-

Digitized by Google

genießbar, als die in denselben geborgenen Samen ihre Entwicklung noch nicht abgeschlossen haben. Erst wenn dies geschehen ist, werden diese unangenehmen Glykoside in angenehm schmeckende Körper umgewandelt. Sie spalten sich nämlich durch die in den unreifen Früchten reichlich vorhandenen Fruchtsäuren in Zucker und verschiedene andere unschädliche Stoffe. Daher kommt es, daß dasselbe Gewebe, das bis dahin herb, sauer und vollkommen ungenießbar schmeckte, auf einmal süß und schmackhaft wird und eine für die Vögel höchst angenehme und daher vielgesuchte Leckerspeise abgibt, die sich auch der Mensch gerne schmecken läßt.

Sobald die Reife eingetreten ist, wird dies auch äußerlich den Vögeln kund getan, indem sich an den vorher unscheinbar grünen Früchten auffallende Färbungen ausbilden, die das betreffende Objekt jenen hungrig nach Nahrung ausspähenden Tieren möglichst auffallend machen. Dabei bilden sich mit Vorliebe starke Kontrastfarben, die sehr oft Komplementärfarben sind. So ist die Vogelbeere, wie die Himbeere rot gefärbt, rötlich angehaucht ist auch der gelbgrüne Apfel, um so die auffallende Komplementärfarbe zum Grün der Blätter, zwischen denen sie stecken, zu bilden. Die im Herbste im gelbwerdenden Laube zeitigenden Zwetschgen und Pflaumen, wie die Schlehen sind gleich wie die Brombeeren und Heidelbeeren dunkelblau gefärbt. Die im blaugrünen Laube reifenden Quitten, Zuckerpflaumen und Aprikosen sind gelb. Und so ließe sich eine ganze Reihe von Beispielen als Beleg für diese Tatsache anführen, die ein jeder Leser nach Belieben selbst ergänzen mag.

Dabei entwickeln alle diese auffallend gefärbten Früchte auch meist angenehme Düfte nach allerlei ätherischen Ölen. Gegen die ungebetenen Gäste aus der Tierwelt wehren sie sich dagegen durch abwehrende Dornen, Stacheln, Borsten und Haare und nicht zuletzt auch manche dadurch, daß sie wie die Kirschen während des Ausreifens an langen, dünnen, schwankenden Stielen hängen, von denen alles nicht flugbegabte Ungeziefer, das sich an sie heranmachen möchte, abfällt. Die Nuß, die in einer gerbstoffreichen, äußerst herben, fleischigen Schale lag, schält sich bei der Samenreife von selbst aus dieser Schutzhülle und wird dadurch dem Nußhäher, der sie verbreiten soll, sichtbar und zugänglich. Die von äußerst harzreichen Schuppen umgebenen unreifen Samen der Zirbelkiefer werden bei deren Reife trocken und öffnen sich so von selbst aus ihrer Hülle, um sich dem Tannenhäher zur Verbreitung anzubieten.

Digitized by Google

Sehr viele Pflanzen sind nun in ihrer Existenz vollkommen auf die Hilfeleistung von seiten bestimmter Vögel angewiesen. Wir erinnern beispielsweise nur an die heimische Mistel, die als Schmarotzer auf den höchsten Bäumen, hauptsächlich solchen mit weichem Holze, in die sie leicht ihre Saugwurzeln einbohren kann, lebt und ohne die Mithilfe der Drosseln, denen sie ihre in der so wie so futterarmen Winterszeit



Fig. 331. Fruchtbeladener Feigenkaktus, d. h. baumartige Opuntie bei Teotihuacan auf dem Hochlande von Anahuac in Mexiko (nach Photogramm von Dr. H. Roß). Diese von der Pflanze eigentlich für die Vögel erzeugten wohlschmeckenden Früchte werden auch vom Menschen sehr gerne gegessen und deshalb wird die Pflanze über die ganze Tropenwelt und darüber hinaus in Nordafrika, Spanien und Italien angebaut.

sehr willkommenen, vom grünen Laube grell abstechenden weißen Beeren anbietet, sofort aussterben würde. Ihre einen äußerst zähen Klebestoff enthaltenden Beeren, aus denen man bekanntlich den Vogelleim bereitet, werden von den hungrig umherstreifenden Drosseln, besonders von der Misteldrossel, die davon den Namen hat, gefressen und die unverdaulichen Samenkerne mit dem Gewölle ausgespien oder mit dem Kot auf dem nächsten zufälligen Ausruheplatz des Vogels, der solche Beeren gefressen hat, ausgeworfen. In der äußerst klebrigen,

Digitized by Google

schmierigen Leimmasse, in der eingehüllt sie entleert werden, bleiben sie am nächsten besten Zweige hängen, laufen der Schwere folgend an ihm herunter an die Unterseite des betreffenden Astes, wo sie beim Eintrocknen ihres Gleitkörpers fixiert werden und vor aller Unbill der Witterung und allen Eingriffen von seiten der Tierwelt geschützt keimen, um so eine neue nach unten hängende Mistelpflanze erstehen zu lassen.

Die grell scharlachroten Früchte des Spindelbaums, die ob der merkwürdigen Gestaltung des Samenmantels in Süddeutschland als Pfaffenhütchen bezeichnet werden, nennt man mit demselben Recht anderwärts auch Rotkehlchenbrot, weil diese Vögel im Herbst mit Vorliebe davon leben und dabei die für sie ungenießbaren Samen an Hecken und Waldrändern ausstreuen. Infolgedessen reicht das Verbreitungsgebiet des Spindelbaums gerade so weit als sein Verbreiter, das Rotkehlchen, vorkommt. Der schon im Februar am blätterlosen Stengel seine herrlich duftenden, rosarot gefärbten Blüten treibende Seidelbast entwickelt aus denselben, nach deren Befruchtung durch geflügelte Insekten, im Juni bis Juli hochrote fleischige Früchte, die einen Steinkern umschließen. Sie werden wohl mit Unrecht für giftig angesehen. Jedenfalls sind sie es durchaus nicht für die Drosseln, Hänflinge und Bachstelzen, die sie mit Gier fressen und deren Kerne sie dann später überallhin ausstreuen. So wird auch der Wacholder, dessen blaue und grünliche Beeren im Herbst ein sehr begehrtes Futter für viele Vögel bilden, vorzüglich durch Drosseln, Birk- und Haselhühner verbreitet. In Nordamerika besorgte dies, wenigstens so lange sie dort noch in großen Scharen flog, die Wandertaube, welche die an ihr wachsenden, aromatisch schmeckenden Beeren so liebt, daß sie davon zur Reifezeit dieser Früchte das Mehrfache ihres eigenen Gewichtes zu sich nimmt, nachträglich aber die unverdaulichen Steinkerne überallhin ausstreut.

Die für uns Menschen giftigen Tollkirschen verschleppen ebenfalls die gefräßigen Drosseln und andere Beerenfresser, denen die schwarzen Beeren durchaus keinen Schaden zufügen und deren unverdaulichen Steinkerne oft stundenweit von der Pflanze, an der sie reiften, von den Vögeln ausgespien werden. Die auch von uns nicht verschmähten Preißelbeeren werden nach Francé ebenfalls von Drosseln, Rebhühnern und Wildtauben verbreitet. So hat jeder Baum und jeder Strauch seine besonderen Vogelfreunde, die ihm, wenn nicht das Weiterleben, so doch auf alle Fälle die Weiterausbreitung durch gelegentliches Ausstreuen der Samen sichern. An den Hollunder-, Johannis- und Stachel-

Digitized by Google

beeren tun sich Drosseln, Bachstelzen, Wendehälse und Pirole gütlich, an den schwarzen Beeren des Efeus erfreuen sich besonders Bachstelzen, an den Erdbeeren dagegen Waldhühner und Pirole, an den Brombeeren Krähen und Rebhühner, an den Himbeeren der Pirol, an den Weintrauben der Grünspecht und andere Leckermäuler. So hält sich ein jeder Beerenstrauch oder Fruchtbaum seine besonderen Freunde und Abnehmer, die sich zur Zeit der Fruchtreife als getreue Gäste zum willkommenen Schmause bei ihm einfinden und zum Lohn für die dargebotene Speise die unverdaulichen Steinkerne derselben überallhin, so weit sie auf ihren Streifzügen gelangen, verbreiten. Da die Samen der von den verschiedenen Vögeln gefressenen Beeren und Fleischfrüchte gewöhnlich nur kurze Zeit im Kropf oder im Darmkanal ihrer Verbreiter verweilen, so ist es allerdings wahrscheinlich, daß die betreffenden Pflanzen durch diese gewöhnlich nicht allzuweit um ihren Standort streichenden Tiere im Laufe eines Jahres höchstens im Umkreise einiger Stunden und nur im Laufe vieler Jahrzehnte auf weite Landstrecken verbreitet werden. Nur die Zugvögel können in kurzer Zeit Pflanzensamen weithin ausstreuen.

Auch Eichel- und Nußhäher, Eichhörnchen und Hamster, die in hohlen Bäumen oder Erdhöhlen Früchte und Samen aller Art als Vorräte für den Winter und das Frühjahr zusammentragen, ebenso manche Eicheln eintragende Spechte, die dafür an gewissen Baumstämmen besondere Vertiefungen mit ihrem meißelförmigen Schnabel einhauen, können diese gelegentlich verschleppen und zur Verbreitung der betreffenden Pflanzen beitragen. So verbreitet das Eichhörnchen besonders Haselnüsse, der Eichelhäher außer diesen besonders Eicheln und Buchnüsse, der Tannenhäher endlich die ölreichen Samen der Zirbelkiefer oder Arve.

Zahlreiche sich an den Boden duckende kleine Pflanzen, zu denen sich doch niemals ein Vogel herablassen würde, lassen ihre Samen durch die immer geschäftigen Ameisen verbreiten. Zu diesem Zwecke müssen sie diesen Tieren ebenfalls angenehm schmeckende Früchte anbieten. Dies geschieht, indem sie an den betreffenden Früchten gewisse sehr nahrhafte Elaiosome oder Ölkörper, besonders an den fleischigen Nabelschwielen, erzeugen, welche für die Ameisen eine sehr willkommene und beliebte Speise darstellen, die sie eifrig sammeln und von weit her in ihre Baue tragen. Außer der leckeren Nabelschwiele sind alle die Früchte an der ganzen Oberfläche möglichst glatt, um diesen Tieren keinerlei Angriffspunkte zum Nagen darzubieten, weil

Digitized by Google

dadurch der eingeschlossene Keim gefährdet würde. Solche Ameisenfrüchte bilden besonders die Samen des Veilchens, des Schöllkrautes, des Lerchensporns, der Haselwurz, des Schneeglöckchens, des Alpenveilchens, des Immergrüns, der Kreuzblume, des Wachtelweizens, verschiedener Wolfsmilcharten, der Taubnesseln, von Boretsch, Lungenkraut, Beinwell, Ehrenpreis, Leberblümchen, Nieswurz, kriechendem Günsel und zahlreicher anderer.

Die verschiedensten Ameisen, worunter bei uns besonders die Rasenameise, sammeln diese Ameisenfrüchte in ihre Wohnungen und verschleppen sie dabei oft auf weite Distanzen. So wurden schon Transporte von solchen auf 27 und sogar 60 m beobachtet. Dabei kann es nicht wundern, daß sie da und dort einen Samen verlieren oder nach Abfressen der Nabelschwiele liegen lassen. Aus diesen Gründen sind alle vorgenannten, besonders aber Veilchen, Lerchensporn und Schöllkraut regelmäßig nicht nur in der Nähe von Ameisenbauten, sondern stets auch als Einfassung von Ameisenstraßen zu finden, weil da ihre Samen, von den fleißigen Sammlerinnen beiseite geworfen, keimen.

Nun hat der amerikanische Naturforscher Lincecum von einer die Savannen der südlichen Teile der Vereinigten Staaten bewohnenden Ameise berichtet, daß sie geradezu Ackerbau treibe und zielbewußt gewisse Pflanzen züchte, um deren Samen als Vorrat für die magere Zeit zu ernten und in unterirdischen Getreidemagazinen aufzustapeln. Diese Ameise, Pogonomyrmex barbatus var. molefaciens, solle beim Abgrasen der Nestumgebung eine einzige, als Ameisenreis bezeichnete Grasart, Aristida stricta, wachsen lassen, ja sie direkt aussäen und großziehen, weil diese ihr besonders zusagende Samen liefere. Letzteres ist nun durch eingehende neuere Untersuchungen von Wheeler als unrichtig erwiesen worden. Diese Ernteameise hat allerdings vielfach größere Kulturen der Ameisenreispflanze um ihr Nest herum wachsen, aber es ist dies nur ein zufälliges Aufsprossen, das dadurch entsteht, daß die Ameise die zu früh keimenden Körner dieser Pflanze, die sie in großen Mengen einsammelt, aus den Vorratskammern heraus vor das Nest schafft, wo sie in Menge aufgehen. Sie jätet auch nicht, wie zuerst gesagt wurde, absichtlich alle andern Pflanzen außer dem Ameisenreis um ihr Nest herum aus, sondern wo er ihr beim Straßenbau im Wege steht, wird er ebenso wie jede andere Pflanze abgebissen und so beseitigt.

Gibt es nun auch keine Ackerbau treibenden Ameisen, so hat dagegen ein deutscher Forscher, E. Uhle, in Südamerika Ameisen ent-

Digitized by Google



Verschiedene Entwicklungsstadien der Blumengärten von Azteca Traili; unten mit schon entwickelten Ficus myrmecophila und Philodendron myrmecophilum auf Tococa guianensis, Pongo de Cainarachi in Peru am Oberlauf des Amazonenstroms.



Ausgewachsener Blumengarten mit Streptokalyx angustifolius und Codonanthe Uleana, bei Manaos in Brasilien am Mittellauf des Amazonenstroms.

Blumengärten der Ameisen des Amazonenstroms nach Photogrammen von E. Ule aus den Vegetationsbildern von G. Karsten und A. Schenk.

Digitized by Google

deckt, die regelrechten Gartenbau betreiben. Um ihre wegen der zahlreichen Überschwemmungen im Amazonasgebiet, ihrer Heimat, auf Astverzweigungen von Bäumen und Sträuchen verschieden hoch angelegten Nester tragen sie zuerst reichlich Erde zusammen, die sie mit ihrem klebrigen Speichel zu einer festhaftenden Schicht zusammenkleben. Wenn so die Gartenbeete angelegt sind, schleppen sie allerlei Samen von auf Bäumen wachsenden Überpflanzen, meist zu den Bromeliaceen oder Ananasgewächsen gehörenden Arten, herbei, der dann regelrecht in die Erde gesät wird. Sobald diese ihre Schützlinge zu wachsen begonnen haben, tragen sie nach Bedarf neue Erde hinzu, sobald deren das Ameisennest rings umwuchernde Wurzeln wegen Mangel an Erde allzu stark nach oben drängen.

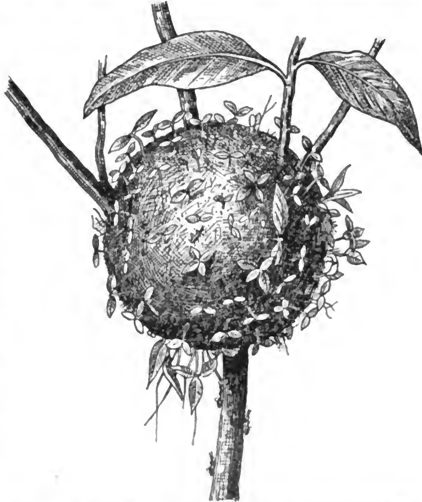


Fig. 332. Von Gartenbau treibenden Ameisen des Amazonasgebietes zusammengetragener Erdhaufen mit darin ausgesäten Keimlingen von Bromeliaceen. (Nach Uhle.)

Diese schwebenden Nester oder Ameisengärten sind bezüglich ihrer Bauart am ehesten mit den Erdkuppeln zu vergleichen, die zahlreiche Ameisenarten ebenfalls aus Erde mit Hilfe von Speichel zusammenkitten und deren Oberfläche die Ernteameise, Pogonomyrmex occidentalis, sogar mit Steinchen pflastert, um sie dadurch noch fester und widerstandsfähiger zu machen. Sie holt dabei die kleinen weißen Pflastersteinchen oft tief aus der Erde hervor, um sie regelmäßig in einer Lage neben einander zu setzen, was dem Neste ein

Digitized by Google

eigenartiges Aussehen verleiht. Die Ameisengärten anlegenden Arten aber tragen nur Erde in zunehmender Menge herbei, um darin die ihr zusagenden Pflanzen auszusäen und wachsen zu lassen. Und zwar gibt es nach den neuesten Veröffentlichungen von E. Uhle zwei ganz verschiedene Arten von Gartenbau treibenden Ameisen, deren „Blumengärten", wie sie ihr Entdecker genannt hat, aus ganz verschiedenen Überpflanzen bestehen.

Die eine, größere Art, Camponotus femoratus, legt ihre Nester, die auch umfangreicher sind und bisweilen Kopfgröße erreichen, in mehr sonnigen Lagen auf die Gabelungen hoher Bäume oder auf Astverzweigungen größerer Sträucher. In ihrer ersten Anlage erscheinen sie als formlose Anhäufungen von Erde, welche von einer ziemlich einfachen Kartonhülle aus zerkautem und mit Speichel zusammengeleimtem Holz umgeben und im Innern von zahlreichen Kammern durchsetzt sind. In die reichlich von den diesen Bau errichtenden Ameisen zusammengetragene Erde pflanzen sie sieben verschiedene Ameisenpflanzen, die außerhalb von den Ameisengärten nicht mehr wildwachsend angetroffen werden, so sehr sind sie in ihrer Existenz von diesen ihren Pflegern abhängig. Diese Kulturgewächse der Ameisen, die sich ganz in ihren Schutz begeben haben, unterscheiden sich von den gewöhnlichen Überpflanzen des Urwaldes, die nur ein sehr reduziertes Wurzelwerk ausbilden, vor allem dadurch, daß ihre Wurzelballen stark verfilzen, wodurch die hängenden Gärten einen festen Halt bekommen. Sie tragen alle Beeren, deren Fruchtfleisch die Ameisen sehr gerne fressen und deren Samen sie entweder direkt in ihre Nester oder an ihnen sonst zusagenden geeigneten Stellen der betreffenden Stützpflanzen verschleppen und dort wiederum in von ihnen angehäufte Erde anpflanzen. Aber auch abgesehen von ihren üppiger entwickelten Faserwurzeln weichen sie von den gewöhnlichen, nicht in Symbiose mit den Ameisen lebenden Überpflanzen vielfach ab, da sie ja in weit günstigeren Bedingungen als jene leben, indem die sie kultivierenden Ameisen in jeder Weise für ihr gutes Gedeihen sorgen, nicht nur nach Bedarf neue Erde für das Einhüllen ihrer nach außen drängenden Wurzeln herbeitragen, sondern diese zudem noch mit ihren Exkrementen und den an stickstoffhaltigen Nährstoffen reichen abgelegten Chitinhüllen der Toten düngen. So gepflegt gedeihen auch die in den Blumengärten der Ameisen angesiedelten Überpflanzen, unter denen für die Ansiedelungen von Camponotus die Bromeliacee Streptocalyx angustifolius besonders charakteristisch ist, sehr üppig und spenden bei der Fruchtreife

Digitized by Google

reichen Ertrag an saftigen, von ihren Hegern außerordentlich geliebten Beeren.

Weniger hoch über dem Boden und in mehr schattigen Lagen als die vorigen bauen ihre Blumengärten die Azteca-Arten, Vertreter der gleichen Gattung, die wir bald als Bewohner der hohlen Stämme und Zweige des ebenfalls südamerikanischen Imbaubabaumes kennen lernen werden und von denen viele Arten in andern Ameisenpflanzen leben. Ihre kugelrunden Nester von Faust- bis Kinderkopfgröße errichten sie in quirlständig gestellten Zweigen von Bäumen kunstvoller als die vorhin genannte Ameise. Die von ihnen gehaltenen acht Arten von Kulturpflanzen werden gewöhnlich größer als die von Camponotus gezogenen. Nur eine Art, die Bromeliacee Philodendron myrmecophilum, pflanzen sie mit jenen gemeinsam. Im übrigen haben sie ihre besonderen Pflanzenarten, die unter ihrer Pflege recht gut gedeihen, außerhalb der Blumengärten aber verloren gingen und ausgerottet wurden. Jedenfalls spielen die Blumengärten dieser Ameisen, die nicht nur in den Niederungen, sondern auch im Gebirge in Höhen bis 1000 Meter gefunden werden, eine entschiedene Rolle im Landschaftsbild des tropischen Südamerika.

Was diese schwachen Tierchen zu solchen außerordentlichen Kraftleistungen veranlassen mag, ist, abgesehen von den nahrhaften Früchten, die die in Pflege genommenen Kulturpflanzen ihnen als willkommenes Futter abwerfen, besonders auch der Umstand, daß sich das Fasernetz der Wurzeln jener Überpflanzen so dicht mit der zusammengetragenen Erde verspinnt, daß auch die stärksten Regengüsse, wie sie in den Tropen so häufig vorkommen, diese Ameisengärten mit den sie umhüllenden Nestern nicht wegzuschwemmen vermögen. Außerdem wird dadurch die ausdörrende Glut der Sonne von den Wohnungen der Ameisen abgehalten und zugleich auch, was nicht zu unterschätzen ist, der ganze Bau durch seine grüne Pflanzendecke gut maskiert und den Blicken der auf den Bäumen herumkletternden und nach Futter ausspähenden Ameisenfresser, wie solche gerade das tropische Südamerika beherbergt, entzogen. Gewiß Vorteile genug, die solch mühsame Arbeit von seiten dieser winzigen Gärtner bezahlt machen.

Außer den besprochenen Pflanzen benützen auch sehr viele andern die verschiedensten Tiere, wie auch den Menschen, zur Verbreitung ihrer Samen, indem sie diese an die gerade vorbeistreifenden Lebewesen ankleben, anhäkeln oder sonstwie anheften, bis sie früher oder später von selbst abfallen oder abgestreift werden. Schon alle niedrigen Pflanzen

Digitized by Google

lassen ihre winzigen Sporen, insofern sie dieselben nicht dem Wind oder der Welle zum Weitertransport übergeben, vorzugsweise durch das zahllose Heer der Insekten verschleppen. Die Sporen der vielgestaltigen Pilze werden an den mancherlei Fruchtständen aus fleischigem Pilzgewebe, die ein beliebtes Futter für zahllose Tiere bilden, erzeugt und von hier durch alles mögliche Kleingetier, besonders Insekten und deren Larven, wie auch Schnecken und Würmer, an die sie sich hängen, in die verborgensten Schlupfwinkel und Gänge im Boden verschleppt. Gleicherweise wird überall der Boden nicht nur durch die fleißigen Regenwürmer, sondern von zahllosen andern in der Erde wühlenden Tieren beständig durchpflügt und dabei unfreiwillig mit den winzigen Keimen niederen Pflanzenlebens besät. Die Algen der Gewässer, wie die Samen von zahlreichen Wasserpflanzen heften sich jedem trinkenden oder sich badenden Vogel an und gelangen mit ihm zum nächsten Teich, wo sie wiederum abgestreift werden und sich ansiedeln. So hängen sich die auf der Wasseroberfläche schwimmend erhaltenen Früchte und Samen der mannigfaltigsten Wasser- und Sumpfgewächse an die Beine, an das Gefieder und den Schnabel der in ihren Bereich kommenden Schwimmvögel, um sich bei deren Wegflug von Teich zu Teich oder See zu See übertragen zu lassen und so ihr Wohngebiet immerfort auszudehnen.

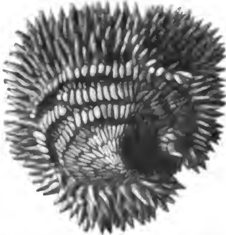


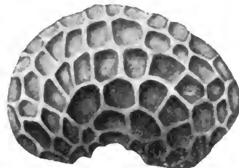
Fig. 333. Stacheliger und infolgedessen sich beim Darauftreten leicht aufspießender und so anheftender Samen der Kornrade, Agrostemma Githago, des bekannten Unkrautes in Getreidefeldern, das sich mit dem Getreide über die ganze Welt verbreitet hat. Es enthält ein Alkaloid mit giftigen Eigenschaften und verdirbt in größeren Mengen das Mehl. (Ziemlich stark vergrößert.)

Durch Vermittlung von Schlamm und feuchter Erde werden insbesondere die kleinen klebrigen oder stacheligen Früchte und Samen aller einjährigen Ufer- und Sumpfpflanzen an die zur Tränke oder zum erfrischenden Bade an das Ufer der Gewässer kommenden Vögel und Säugetiere angeheftet und so durch sie überallhin verschleppt. So kann man im Schlamm, der an den Füßen, am Gefieder und an den Schnäbeln von Sumpfvögeln aller Art, wie Reihern und Schnepfen, aber auch von Bachstelzen, Dohlen, selbst Schwalben haftet, eine ganze Sammlung von Samen durch Aussäen feststellen. So keimten Charles Darwin

Digitized by Google

aus $6^3/_4$ Unzen, das heißt 201 Gramm Schlamm, den er solchen Tieren abschabte, nicht weniger als 537 Pflanzen. Der Botaniker Anton Kerner von Marilaun in Wien erhielt aus der gleichen Menge mitgeschleppten Schlammes halb so viel Keimlinge. Und wenn man bedenkt, daß Tauben und Kraniche 60 bis 70 km, Schwalben und Wanderfalken sogar 180 km in einer Stunde auf ihren Wanderflügen zurücklegen, so ist es einleuchtend, daß gelegentlich durch solche Wandervögel die verschiedensten sich an sie anheftenden Früchte und Samen über viele Hunderte von Kilometern verschleppt werden können.

Die meisten der so sich ausbreitenden Pflanzenarten sind deshalb auch, wie leicht zu begreifen ist, über alle Weltteile verbreitet, erhalten sich aber nur an solchen Standorten auf die Dauer, wo sie für ihre Lebensbedingungen günstige Verhältnisse finden. Oft tauchen auf einmal da und dort vollkommen unbekannte Pflanzen fremder Länder bei uns auf, die von Vögeln verschleppt wurden, welche auf ihren Wanderzügen gelegentlich Rast machten und an den betreffenden Orten zur Tränke oder auf die Futtersuche gingen. So trat vor einigen Jahren eine indische Pflanze plötzlich an den Ufern abgelegener Teiche im südlichen Böhmen, bald auch in Frankreich auf, da, wo Wandervögel auf ihrer Heimreise in den Norden vorüberziehend rasteten. Ein anderes Mal fand sich ebenfalls ganz unerwartet eine Binsenart des tropischen Afrika am Ufer des Genfersees in der Schweiz.


Fig. 334. Wie der vorige durch den Besitz von Alkaloiden ausgezeichneter Samen des Klatschmohns, Papaver Rhoeas, der ebenfalls ein arges Ackerunkraut ist, andererseits aber auch eine der schönsten Zierden der Getreidefelder ausmacht. (Ziemlich stark vergrößert.)

Durch Vermittlung der vom Regen durchweichten Erde heften sich zahlreiche Samen aber auch an die Füße, das Haarkleid oder das Gefieder aller möglichen Landtiere an. So fand Darwin in $6^1/_2$ Unzen, d. h. 191 g hart gewordener Erde, die er von den Füßen von Rebhühnern entfernte, zahlreiche Samen, von denen er 82 zum Keimen brachte. Die meisten sogenannten Unkräuter, welche an Straßenrändern und vielbegangenen Feldwegen wachsen, lassen sich auf diese Weise verbreiten und gelangen mit dem Menschen und seinen Haustieren überallhin.

Daß klebrige, von den Früchten ausgeschiedene Stoffe dieses An=

Digitized by Google

heften an vorüberziehende Tiere wesentlich befördern, ist ja selbstverständlich. So verbreiten sich beispielsweise die Samen der allbekannten, vom Landwirt wegen ihrer Giftigkeit ungern gesehenen Herbstzeitlose mühelos von Wiese zu Wiese, indem sie sich vermittelst einer großen, bei der Befeuchtung klebrig werdenden Fleischwarze an die Klauen und Hufe der weidenden Rinder, Ziegen, Schafe und Pferde ankleben. Ein Steinkauz, der beim allzu eifrig betriebenen Mäusefang an einen Busch von Wermutpflanzen mit reifen Samen anstreifte, war beim Fortfliegen über und über mit den infolge eines vorher niedergegangenen Regens klebrig gewordenen Früchtchen dieser Pflanze behaftet. Solche unfreiwilligen Übertragungen durch Tiere, auf welche die Pflanze in vielen Fällen rechnet, kommen auf die eine oder andere Art zur Reifezeit tagtäglich vor.

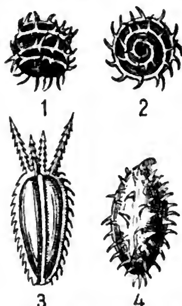


Fig. 335. Klettenfrüchte zum Anhaken an Tiere: 1 u. 2 des Schneckenklees, Medicago agrestis, von der Seite und von oben, 3 vom Zweizahn, Bidens, 4 von der Spitzklette, Xanthium. (Schwach vergrößert.)

Wie die verschiedenen Wasserhühner die in eine schleimige, klebrige Masse eingehüllten Samen der Seerose, die sich ihnen beim Aufhacken der als Nahrung sehr beliebten Früchte unwillkürlich an die Borstenfedern der Mundwinkel ankleben, ausstreuen, so benützen zu gleichem Zwecke zahllose Pflanzen die allerverschiedensten Tiere, um ihre Samen möglichst weit herum auszustreuen. An jedes vorüberwandernde Wesen kleben sich so die Samen der überreifen, bei leisestem Drucke platzenden saftreichen Früchte verschiedener Nachtschattengewächse und Kürbisse an. Auf die gleiche Weise heften sich die mit Klebemitteln versehenen Samen der fleischigen Früchte der in den Tropenwäldern wachsenden Rafflesiaceen, die an oberflächlich über die Erde verlaufenden Baumwurzeln und Lianen schmarotzen, an die Füße der Elefanten und Nashörner an. Fast nur durch diese werden sie verschleppt, deshalb wachsen sie fast ausschließlich an den von diesen Dickhäutern regelmäßig begangenen Pfaden.

So zahllos auch die Pflanzen aller Breitegrade sind, die sich mittelst klebriger Umhüllungen der Samen an vorübergehende Tiere ankleben, um so bequem ihre Art nach und nach über weite Gebiete auszudehnen, so finden wir doch im allgemeinen noch viel häufiger das Anhaken der Früchte als Verbreitungsmittel der Samen von der

Digitized by Google

Pflanze ausgebildet. Diese Methode benützt etwa der zehnte Teil aller Phanerogamen, um ihre Samen überallhin auszustreuen. Besonders raffinierte Krallenbildungen an ihren Früchten zeigen die auf den steinigen oder sandigen wasserarmen Steppen Südafrikas und Australiens wachsenden Dornen- und Stachelpflanzen, die sich an das Fell der Antilopen, oder, wo die Schafzucht eingeführt ist, an das wollige Vließ dieser Haustiere des Menschen heften und nur mit größter Mühe überhaupt daraus zu entfernen sind. Andere Arten dieser Gewächse streuen ihre Früchte in Form von eigentlichen Fußangeln aus, die sich Menschen und Tiere an die Füße heften oder sich in sie hineinbohren, so daß die bösartigsten Entzündungen entstehen können. Erst wenn die heimtückischen Erreger derartiger Geschwüre, die an den sich auszubreiten versuchenden Samen solcher Dornbüsche enthaltenen Fußangeln herausgeeitert sind, oder vom Menschen künstlich seinen schutzbefohlenen Herdentieren aus der von jenen hervorgerufenen Wunde entfernt wurden, tritt Heilung ein; dabei hat aber die Pflanze ihren eigennützigen Zweck erreicht.

Besonders berüchtigt sind, wie teilweise schon ihre Namen andeuten, die scheußlichen Teufelskrallen und Teufelshörner, die Gemshörner, Wollmäuse, Wollspinnen, Ringel- und Steinkletten, die besonders beim Reinigen der Schafwolle vor dem Verspinnen derselben den damit beschäftigten Arbeitern viel Mühe und Ärger verursachen, dann die Bettlerlaus genannte Fußangelfrucht einer die ungarischen Steppen bewohnenden gelbblühenden Pflanze, des Tribulus orientalis, und endlich die durch den regen Verkehr des Menschen bald über die ganze Welt verbreiteten, zu vielen Tausenden in ganzen Klumpen sich anhängenden Früchte der Spitzklette, Xanthium spinosum, die auch in Deutschland ihren Einzug gehalten hat und an Bahndämmen, auf Schutthaufen und wüsten Plätzen sich einnistend rücksichtlos lieblichere Kinder der Flora, als sie mit ihrem garstigen Stachelkleide ist, vom angestammten Boden verdrängt; denn nicht immer sind es uns Menschen angenehme Eigenschaften, die solchen plebejischen Emporkömmlingen zu ihrer Verbreitung nützlich sind.

Endlich ist es der Mensch selbst, der beständig, ohne es zu wollen, bestimmte Pflanzen und zwar speziell Unkräuter, überallhin verschleppt. Wie die große Brennessel und der breitblätterige Wegerich überallhin die freiwilligen Begleiter der ersten europäischen Ansiedler in den Urwaldregionen Nordamerikas waren, weshalb letzterer sinnig von den Indianern als „Fußstapfen des Blaßgesichtes“ bezeichnet wurde, finden

Digitized by Google

sich in Argentinien meilenweit um die Städte aus Europa eingeschleppte Fremdlinge wie Kamille, Steinklee, Mariendistel, Mäusegerste, Raygras und viele andere. Eine kleine Wickenart, Vicia cracca, verrät noch jetzt nach Jahrhunderten die ehemaligen Wohnstätten der aus Norwegen eingewanderten normannischen Kolonisten auf Grönland. Noch heute lassen sich durch die sporadische Verbreitung verschiedener asiatischer Steppenpflanzen, z. B. der Kochia scoparia in Böhmen und in Krain, und des tatarischen Meerkohls, Crambe tatarica, in Ungarn und Mähren, die Züge und Lager der großen asiatischen Völkerhorden, die im Mittelalter als Hunnen von Asien aus Mitteleuropa verheerten, nachweisen. Nach den Befreiungskriegen fand sich an vielen Stellen, wo Kosaken gelagert hatten, eine den Gänsefußarten verwandte Pflanze, Corispermum Marschalli ein, die sonst ausschließlich in den Steppen am Dnjepr heimisch ist, und in ähnlicher Weise verbreitete sich die russische Zackenschote, Bunias orientalis, mit den russischen Heereszügen durch Deutschland und Frankreich bis nach Paris. Eins der auffallendsten Beispiele dieser Art ist die Verbreitung des Stechapfels, der von Ägypten her durch ganz Europa den Zügen der Zigeuner folgte, die bei ihren unsauberen, polizeiwidrigen Geschäften häufig Anwendung von Samen dieser Giftpflanze machten und sie überall ungewollt an ihren Lagerplätzen verstreuten. Heute noch findet sich diese Pflanze fast ausschließlich auf den Schutthaufen und an den Gräben vor den Toren der Städte und Dörfer, wo das unsaubere Volk zu lagern pflegt. So werden überall über die Erde hin Samen von Menschen und Tieren unfreiwillig verschleppt und damit das Ausbreitungsgebiet der betreffenden Pflanzen vergrößert.

Digitized by Google

XII.

Vergesellschaftungen von Tieren und Pflanzen.

So vielerlei Arten von Symbiosen wir schon in Kürze kennen gelernt haben, so haben wir noch lange nicht alle solchen freundschaftlichen Beziehungen zwischen verschiedenartigen Lebewesen erschöpft. So müssen wir unter den Freundschaftsbeziehungen der Pflanzen zu den Tieren, mit denen wir zunächst fortzufahren haben, hier auch der mannigfaltigen Anpassungen gedenken, die nicht nur die Floren der Tropen, sondern schon unsere bescheidenere einheimische Pflanzenwelt mit einer besondern Insektengattung, nämlich mit den überallhin nach Eßbarem ausspähenden fleißigen Ameisen eingegangen sind. Die überall in der ganzen Schöpfung uns entgegentretenden myrmekophilen Einrichtungen der Pflanzen, von denen wir einige schon besprochen haben, lassen uns erkennen, was für eine ungemein wichtige Rolle gerade diese Insekten allseitig in der Natur, besonders beim Pflanzenleben, nicht nur etwa bei der schon kurz besprochenen Ausstreuung zahlreicher Früchte, spielen. Beim streitbaren Naturell und dem tollkühn ihrem Gegner gegenübertretenden, überhaupt keine Gefahr scheuenden Wesen der Ameisen ist es kein Wunder, daß sehr viele Pflanzen es für sie sehr nützlich befunden haben, sich ganz unter den Schutz dieser über kräftige Kiefer und ätzende Gifte verfügenden Insekten zu begeben. Der große Ameisenkenner Prof. Auguste Forel schätzt die Zahl der von einem großen, mehrere Hunderttausend Einwohner zählenden Ameisenneste getöteten Käfer, Wanzen, Spinnen, Würmer, Larven und Raupen aller Art auf 100000 für den Tag. Das ist für einen einzigen Ameisenstaat gewiß eine ganz respektable Leistung und daraus läßt sich mit Leichtigkeit ermessen, was die ungezählten Scharen dieser Kerfe im Interesse unserer Flora tagein tagaus an Ungeziefer, das ihr auf jede Weise auf den Leib zu rücken sucht, vernichten. Ohne

Digitized by Google

sie wären wohl schon in unserem Klima, mehr aber noch in allen heißen Ländern, wo die Lebensfülle noch in viel höherem Maße als bei uns sich geltend macht, die meisten Pflanzen vom Ungeziefer kahl gefressen. Da ist es sehr wohl begreiflich, daß eine Unzahl von Pflanzen sich in den mächtigen Schutz der kriegerischen Ameisen begeben haben, um sich durch sie von unberufenen Schmarotzern aller Art frei zu halten und so im Kampfe ums Dasein am Leben zu bleiben.

So gibt es bei uns zahlreiche Ameisenpflanzen, d. h. Pflanzen, die sich die Dienste der bissigen Ameisenvölker auf diese oder jene Weise sichern und aus diesem Schutz- und Trutzbündnis großen Gewinn ziehen. Dabei werden die Ameisen, die die Leibwachen der betreffenden Pflanzen stellen sollen, durch das bewährte Universallockmittel, den Honig, eine Art Nektar, an die zu schützenden Teile der Pflanze hingelockt und dort festgehalten, damit sie dafür als Gegendienst den gefährdeten Partien der Pflanze ihren sehr wirksamen Schutz angedeihen lassen. Diese außerhalb der Blüte als Lockmittel für die Ameisen eingerichteten Honigschenken bezeichnet man in der Wissenschaft als extranuptiale Nektarien, das sind Honigdrüsen, die keinerlei Beziehung zur Anlockung der die Blütenbefruchtung besorgenden Gäste haben, sondern nur für die herbeizurufenden Ameisen gehalten werden.

Alle jungen Blätter, die vor Raupenfraß geschützt werden sollen, entwickeln, meist an der Stielbasis, solche Honigschenken, um die die Bewachung der schutzbedürftigen Triebe besorgenden Ameisen an sich zu locken und bei sich festzuhalten. Solche extranuptiale Nectarien, die reichlich die beiden Süßstoffe, die Glykose und Saccharose erzeugen, bildet der in unsern Bergwäldern heimische Adlerfarn am Grunde der Blatthauptnerven der zarten jungen Blätter, desgleichen Weißdorn, Schlehe, Holunder, Schneeball, Liguster, Flieder, dann Bäume, wie die Zitterpappel, Pflaume und zahlreiche andere. Dabei führen oft bestimmte rote oder bräunliche Haarreihen, die ganz analog den früher erwähnten Saftmalen der Blüten den in ganzen Zügen zu ihnen heranmarschierenden Schutzameisen den richtigen Weg weisen wollen, zu den an den zu schützenden Organen ausgebildeten Honigschenkstellen. Sobald die jungen Blätter sich so weit entwickelt haben, daß sie des Schutzes nicht mehr bedürfen, so versiegen alsbald die Honigquellen und die Wächter, welche bis dahin treue Dienste leisteten, jetzt aber unnötig geworden sind, ziehen weiter auf neue Pflanzen, die ihres Schutzes gegen Blattfresser harren und dies durch Honigausschwitzungen kund tun.

Digitized by Google

So haben zahlreiche junge Blüten, wie z. B. diejenigen von Pfingstrose, Vogelkirsche, Pflaume, Mandel, Aprikose, Pfirsich und anderen Rosenblütlern, irgendwo in der Nähe, gewöhnlich am äußeren Rande der Kelchblätter meist lebhaft rot gefärbte und ebenfalls mit Saftmalen versehene Honigdrüsen, denen reichlich der süße leckere Saft entquillt. Das lassen sich nun die klugen, begehrlichen Ameisen gewiß nicht entgehen. Zahlreich finden sie sich hier ein, um den über alles geliebten Honig zu lecken. Dabei halten sie wutentbrannt alle andern Insekten von diesen Teilen ab und selbst Bienen, Wespen und



Fig. 336. Ein Körbchenblütler trockener Triften, Serratula, dessen Blüten durch Ameisen gegen Angriffe pflanzenfressender Käfer, hier speziell gegen den kleinen Blumenkäfer, Lygaeus equestris, verteidigt werden.

große Fliegen, welche die duftende Zuckerlösung herbeilockt, um ebenfalls am Mahle teilzunehmen, werden mit Ingrimm verfolgt und, wo sie sich auch erblicken lassen, mit starken Kiefern in leidenschaftlichem Handgemenge überwunden und in die Flucht geschlagen. Ebenso werden Ohrwürmer von ihnen zu Tode gebissen, wenn sie nicht klüglich vorziehen, bei Zeiten ihr Heil in der Flucht zu suchen.

Sehr zahlreiche Körbchenblütler trockener Triften schützen ihre jungen und halbwüchsigen Blütenköpfchen vor dem drohenden Fraße des kleinen Blumenkäfers, Lygaeus equestris, durch am Kelche errichtete Honigschenken, die mit Sonnenaufgang ihren gelbfunkelnden

Digitized by Google

Zuckersaft abscheiden, um die mit Ungeduld auf die Eröffnung dieser Spende wartenden Ameisen herbeizulocken. Eifrig schlürfen sie den Nektar und scheinen sich um nichts weiter zu kümmern. Kommt aber ein solcher Blumenkäfer oder irgend sonst ein Käfer, der die zarte Blüte abweiden möchte, summend herbeigeflogen, so richten sich die Ameisen sofort auf, um die Eindringlinge energisch von ihrem Vorhaben abzuhalten und, wenn es sein sollte, auf Tod und Leben mit ihnen zu kämpfen. So halten sie auf den ihrem Schutze anvertrauten Blüten treue Wacht bis der Abend kommt, die Honigquellen versiegen und sie infolgedessen gezwungen werden, ihren Heimweg ins Nest, den sie auch mit ihrem scharfen Geruchsinn im Dunkeln finden, anzutreten. Mit dem anbrechenden Morgen sind sie aber auch schon an Ort und Stelle, um auf die Honigspende zu warten. So geht es Tag für Tag, bis schließlich die unter sorgsamer Hut prächtig sich entwickelnde Blüte geschlechtsreif geworden ihre bunten Blumenblätter im Lichte weit entfaltet. Alsbald hört natürlich der Nektar auf zu fließen, da die Ameisen hier nicht mehr gebraucht werden. Sie haben vielmehr ihre Schuldigkeit getan und können nun gehen. Im Gegenteil, jetzt sind sie der Pflanze höchst unerwünscht; denn um keinen Preis sollen die Bienen, Hummeln, Fliegen und Falter, deren sie ja jetzt zur Pollenübertragung bedarf, von der Blüte verscheucht werden. Zur Anlockung dieser neuen Art Gäste öffnen sich ja gerade die Nektarien in der Blüte und decken für sie den Tisch, damit sie sich recht zahlreich einfinden und die erwünschte Befruchtung vornehmen.

Der österreichische Botaniker Ritter von Wettstein, der diese Art von Ameisenschutz besonders eingehend studiert hat, stellte bei der Gattung Jurinea Untersuchungen an, wie groß etwa der von den Ameisen der erblühenden Pflanze erwiesene Nutzen sei. Er entfernte zu dem Zwecke von hundert beisammenstehenden Blütenköpfchen dieser Pflanze die Ameisen und verhinderte durch mit Kampher und Öl getränkte Wattebäuschchen, daß neue hinaufkrochen. Das Ergebnis dieses Versuches war, daß bis zur Blüte von den durch Ameisen bewachten Pflanzen 90 Prozent der Blütenköpfe von Insekten unbehelligt blieben, von den ungeschützten dagegen nur 54 Prozent intakt waren. Das spricht doch wahrlich für sich selbst, daß der Ameisenschutz den betreffenden Pflanzen wirklich gute Dienste leistet. Dieser Autor fand namentlich folgende Arten der heimatlichen Ameisen am Schutze der Pflanzen beteiligt: Formica exsecta, rufilabris und cinerea, Lasius niger, Myrmica lobicornis, Camponotus silvaticus und pubescens,

Digitized by Google



Gruppe von Ameisenbäumen, Cecropia adenopus, im tropischen Regenwald Südbrasiliens. Diese 12—15 m hoch werdenden, aber relativ dünnstämmigen, von Azteca Mülleri bewohnten Ameisenherbergen bilden an der Basis der Blattstiele im sog. Trichilium, einem schildförmigen Polster aus kurzen, steifen, braunen Haaren, eiförmige weiße Müllersche Körperchen von 1—1,5 mm Länge als nahrhaftes Brot für die Ameisengäste. (Nach Photogramm von A. Schenk aus den Vegetationsbildern von G. Karsten und A. Schenk.)

Digitized by Google

also gerade die gewöhnlichen und häufigsten aller Ameisen, die deshalb jeder Naturfreund, der dem Blütenschmucke unserer Pflanzenwelt indirekt nicht schaden will, unter allen Umständen schonen, ja vielmehr auf alle Weise fördern sollte.

Bietet schon die einheimische bescheidene Flora eine solche Fülle der merkwürdigsten Anpassungen von Pflanzen an Ameisenschutz, die wir übrigens noch lange nicht alle kennen, so tritt uns in den Tropen die Myrmekophilie zahlreicher Gewächse in noch ganz anderer Weise entgegen. Hier gibt es ganz verblüffende Ameisensymbiosen, bei deren Schilderung man eher einen Jules Vernescher Phantasie entsprungenen Roman als nüchterne und exakte Naturbeobachtung vor sich zu haben glaubt. Solche geradezu berühmte Ameisenpflanzen sind beispielsweise die Cecropia- und Melastomumarten Brasiliens. Diese baumartigen Gewächse bieten den zur Leibwache herangezogenen bestimmten Ameisenarten nicht nur angenehme Wohnräume, sondern, um sie recht innig an sie zu fesseln, auch noch nahrhafte Speisen aller Art an. Zum Danke dafür schützen die auf diesen Ameisenpflanzen in großer Zahl angesiedelten kleinen bissigen Kerfe ihre Wohltäter in ihrem eigenen Interesse gegen alle ungebetenen Gäste und Schädlinge, besonders aber gegen die gefährlichen Blattschneiderameisen, von denen wir bald noch mehr hören werden. Sobald ein Mensch oder ein Tier eine solche Ameisenpflanze nur irgendwie unsanft berührt, so stürzen alsbald aus winzigen Öffnungen des holzigen Stammes, der Zweige oder der Blätter die grimmigen sechsbeinigen Wächter hervor, um mit unsäglicher Wut den betreffenden Ruhestörer, der ihre Schutzbefohlenen anzurühren wagt, anzugreifen.

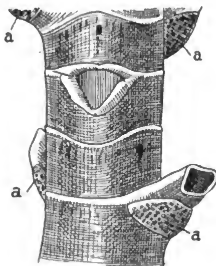


Fig. 337. Stammstück einer jungen Cecropia adenopus mit zwei an den hiezu bestimmten Stellen von den Ameisen durchbohrten Eingangsstellen in die hohlen Stengelglieder, deren Querfächer innen beim Bezuge der Wohnung durch diese Gäste durchbohrt werden. An der Basis der abgeschnittenen Blattstiele erkennt man den Samtüberzug a mit den den Ameisen zur Nahrung dienenden Müllerschen Körper. ($^1/_2$ natürliche Größe.) Nach Schimper.

So bietet der zu den Ulmengewächsen gehörende brasilische Trom-

Digitized by Google

peten- oder Imbaubabaum, wie er dort genannt wird, Cecropia adenopus, der von ihm zum Schutze gehaltenen und ihm völlig angepaßten, außerordentlich kampfesmutigen und höchst empfindlich beißenden Ameisenart, Azteca Mülleri, angenehme Wohnung in den hohlen Gliedern des Stammes und der Stengel. Selbst die Eingänge werden von der Pflanze soweit vorgebildet, daß die in ihre Quartiere einziehende Leibgarde nur eine ganz dünne Zwischenmembran durchzubeißen hat, um in ihr geräumiges Haus einziehen zu können. So haben die Wächterameisen des Imbaubabaumes mit der Zeit ganz verlernt eigene Wohnungen zu bauen, da ihnen der starke Baum solche umsonst anbietet.

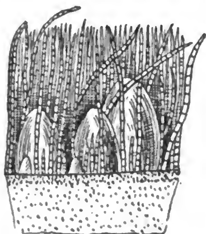


Fig. 338. Teil des Samtüberzuges an der Blattbasis von Cecropia adenopus mit Müllerschen Körperchen in verschiedenen Entwicklungsstadien. (Schwach vergrößert.) Nach Schimper.

In ihren prächtigen Wohnräumen geben sich die Wächterameisen mit Vorliebe mit Blattlauszucht ab, einer speziellen Art von Symbiose zwischen Tieren, die bei den Ameisenvölkern sehr verbreitet ist, weil diese „Milchkühe" der Ameisen, wie man diese ihre Haustiere mit Fug und Recht bezeichnen kann, einen von ihren Züchtern und Hegern sehr geliebte zuckerhaltige Lösung aus zwei am hinteren Teile des Rückens befindlichen kurzen Röhren absondern, sobald sie diese ihre Pfleglinge mit ihren Fühlern liebkosend bearbeiten. Nun würden aber die Einmieter des Imbaubabaumes durch ihre Blattlauszucht davon abgehalten ihr Hauptaugenmerk, wie es der Gastgeber verlangt, auf die zu schützenden Blätter zu lenken. Da hat die Pflanze einen sehr praktischen Ausweg gefunden. An der Basis der Blattstiele hat sie auf einem umschriebenen Feld einen braunsamtenen Haarüberzug entwickelt, an welchem eiförmige, etwa 2 mm lange, sehr eiweiß- und fettreiche Körperchen von weißlicher Farbe erzeugt werden. Diese Körperchen werden nach ihrem Entdecker, Fritz Müller, als Müllersche Körperchen bezeichnet. Sie sind ein von den Schutzameisen des Imbaubabaumes eifrig abgelesenes Ameisenbrot, das nur an den unbewohnten Exemplaren des Baumes, wie sie in unseren Treibhäusern zu finden sind, zu sehen ist. An den bewohnten Bäumen in ihren natürlichen Standorten findet man diese Körperchen einfach aus dem Grunde nicht, weil die Schutzameisen dieser ihrer Hauptnahrungsquelle beständig nachgehen und sie gleich wie sie gebildet werden, abfressen.

Digitized by Google

Solcher Bäume und Sträucher, die sich im Interesse der Selbsterhaltung eine Leibwache bissiger Ameisen halten, gibt es in Brasilien außer diesen noch andere. Es sind dies Vertreter der zur Familie der Myrtengewächse zählenden Melastomaceen, wie Microphysca rotundifolia, die auf der Oberseite ihrer Blätter in den Achseln des Haupt- und der größeren Nebennerven eigentümliche, häufig behaarte große Taschen — ähnlich der Milbenhäuschen auf der Rückseite der Blätter unserer Becherfrüchtler, nur viel geräumiger — ausbilden. In diesen blasenartig über die Blattfläche hervortretenden Myrmekodomatien oder Ameisenwohnungen, die auch an den Blattstielen, ja selbst an den Zweigen gebildet werden können, leben nun ganz bestimmte Ameisenarten, die nur auf den betreffenden Pflanzen gefunden werden. Um diese äußerst angriffslustigen und mit einem empfindlich stechenden Giftstachel versehenen Geschöpfe, welche bei der Annäherung eines Tieres oder eines Menschen sofort aus ihren luftigen grünen Wohnungen herausstürzen, um sich auf ihren Feind, der zugleich auch ein Feind der sie beherbergenden Pflanzen ist, zu werfen, möglichst an ihren Wirt zu fesseln, werden an bestimmten Stellen reichliche Mengen einer zuckersüßen Flüssigkeit abgesondert, welche die Ameisen begierig auflecken. So leben sie zugleich auch von der Pflanze, die ihnen geräumige Wohnungen gebaut hat, und beschützen sie gegen alle Angriffe von außen her.



Fig. 339. Myrmekophile d. h. ameisenfreundliche Pflanze Humboldtia laurifolia mit hohlen, in der Mitte blasenartig aufgetriebenen Stengeln, in die oben eine schlitzartige Öffnung als Eingangstor für die erwarteten Ameisengäste spontan angelegt ist, ohne daß diese etwas dazu tun oder irgendwie mit ihrem Gebisse nachzuhelfen brauchten. (1/2 natürliche Größe.) Nach Schimper.

Wie bei einer Melastomacee des malaiischen Archipels die kleinen stets angriffsbereiten Schutzameisen auf die Blütenstände gelockt werden, indem die Blütenkelche von Honig förmlich triefen, so fesseln alle diese myrmekophilen Pflanzen ihre Verteidiger an die gefährdeten Stellen des Pflanzenleibes. Die Wächter der Cecropia und der Microphysca sind in erster Linie dazu gedungen, die größten Pflanzenfeinde der

warmen Länder Amerikas, die berüchtigten Blattschneiderameisen, Atta cephalotes, von ihren Wirten abzuhalten. Diese in ganz Südamerika unter dem Namen Sauba bekannten und gefürchteten Tiere berauben jede nicht besonders gegen sie geschützte Pflanze, besonders alle vom Menschen eingeführten Obstbäume, alsbald ihres Laubes, so daß in Gegenden, wo sie sehr häufig vorkommen, Plantagen- und Ackerbau vollkommen unmöglich sind. So haben sich in den Ländern, in denen die Sauba lebt, alle Gewächse überhaupt, vor allem aber die Bäume und Sträucher, in irgendwelcher Weise vor diesen gefährlichen Blatträubern schützen müssen, wenn sie nicht zugrunde gehen wollten. Und dieser Schutz geschah von vielen einfach dadurch, daß sie andere noch bissigere Ameisenarten auf sich ansiedelten und durch allerlei Lockmittel an sich fesselten, um sich so jene gefährlichen Vernichter alles Laubes vom Leibe zu halten und am Leben zu bleiben.

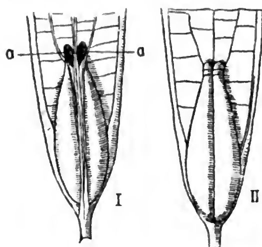


Fig. 340. Blattbasis einer tropisch-amerikanischen Melastomacee, Tococa lancifolia, mit zwei schlauchartigen Aussackungen als Myrmekodomatien oder Ameisenherbergen längs den Hauptnerven des Blattes, I von unten gesehen, die Eingänge a dazu zeigend, II von oben. (1/2 natürliche Größe.) Nach Schumann.

Die Sauba oder Blattschneiderameisen hausen in unterirdischen Nestern, indem sie wenn auch nicht sehr hohe, so doch sehr umfangreiche Hügel in den Gehölzen und Pflanzungen bauen. Diese Dome bilden nur die äußere Bedeckung eines tief und weit im Boden verbreiteten Gangnetzes mit vielen Öffnungen nach außen, welche indessen für gewöhnlich geschlossen sind. Die Hügel bestehen ganz einfach aus der lockeren Erde, welche beim Graben der unterirdischen Gänge aus der Tiefe herausgeschafft wurde. Die Sorge für die Brut bleibt wie stets in den Ameisenstaaten den allerjüngsten unfruchtbaren Arbeiterinnen überlassen. Die älteren Mitglieder des Volkes dagegen ziehen täglich beim ersten Morgengrauen von großen, dickköpfigen, mit gewaltigen, an Beißzangen erinnernden Kiefern bewehrten Soldaten eskortiert, in geschlossenen Kolonnen aus, um die für sie so wichtigen Blattausschnitte zu holen. Sobald ein nicht gegen sie geschützter Baum erreicht ist, erklettern sie ihn, dringen den Zweigen entlang bis zu den Blättern

Digitized by Google

vor und schneiden von letzteren mit ihren kräftigen Kiefern etwa pfennig-große Stücke ab. Die etwa herabfallenden Stücke werden von den unten auf die Gefährten wartenden Geschwistern aufgenommen. Meist aber trägt ein jedes Individuum der Gesellschaft das von ihm abgeschnittene Blattstück mit den Kiefern davon, steigt damit vom gründlich geplünderten Baume herab und zieht, seine Beute wie einen Sonnenschirm über sich haltend, in geschlossener Kolonne, wie man auszog, auf dem gleichen Wege in breitem Strome zum Neste zurück. Dieser eigentümliche Anblick hat den Tieren, die auch Schlepperameisen genannt werden, die weitere Bezeichnung Sonnenschirmameisen eingetragen.

Bis vor wenigen Jahren glaubte man, daß die Blattschneiderameisen mit den von ihnen eingeheimsten Blattstückchen die Wände ihrer Wohnungen austapezierten. Diese Annahme hat sich aber als durchaus falsch



Fig. 341. Zug von Saubaameisen, Atta cephalotes, die die von ihnen abgeschnittenen Blätter zur Bereitung der Pilzgärten ins Nest tragen.

erwiesen. Seit den eingehenden diesbezüglichen Untersuchungen eines jungen deutschen Naturforschers, A. Möller, wissen wir mit aller Bestimmtheit, daß allerdings ein ganz kleiner Bruchteil der heimgebrachten Blätter von den Blattschneiderameisen zur Bedeckung ihres Nestes verwendet wird. Weitaus die größte Masse derselben wird jedoch von den im Innern tätigen jüngeren Mitgliedern des Volkes, die das Nest noch nicht verlassen haben, in immer kleinere Teile zerbissen und so lange mit den Kieferzangen bearbeitet bis ein ganz weicher, völliger mazerierter, durch das darin enthaltene Chlorophyll grünlich gefärbter Brei daraus entstanden ist. Dann werden die Klümpchen einzeln im geräumigen Untergeschoß des Nestes auf den mit größter Sorgfalt gehegten, früher aus ebensolchem Material gebildeten Komposthaufen niedergelegt, der eine badeschwammähnlich poröse, labyrinthartig von Kammern und Gängen durchzogene, bräunlich gefärbte Masse darstellt. Dieser schwammartige Körper, der in große Hohlräume in der Erde in alten Bäumen eingebaut ist, stellt das eigentliche Nest dar, in welchem auch die Geschlechtstiere

Digitized by Google

und die Brut sich aufhalten. Diese zerkaute Blattmasse ist ganz durchsetzt und durchzogen von weißen schimmelartigen Pilzfäden und stellt nichts anderes dar als einen Pilzgarten der von Champignonzucht lebenden Blattschneiderameisen.

Wie viele Pariser in Kellern und andern unterirdischen Gelassen als lohnende Beschäftigung Champignonzucht auf gutgedüngten Komposthaufen treiben, so machen es gleicherweise die intelligenten südamerikanischen Sauba-Ameisen seit undenkbar langer Zeit, lange bevor solches dem Menschen in den Sinn kam, ja bevor es überhaupt Menschen auf Erden gab. Einen zweckmäßigeren Kompost als ihn solche zerkaute Blätter liefern, gibt es in der Tat nicht für diese Pilze züchtenden Tierchen. In ihm gedeihen die von den Blattschneiderameisen als Gemüse gezogenen, in Reinkultur ausgesäten, in ihrem Wachstume sorgfältig überwachten und in jeder Weise kontrollierten Pilze aufs beste. Sie können aber

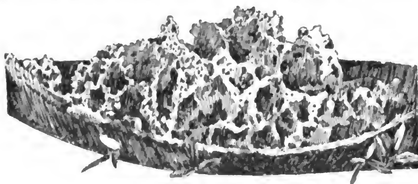


Fig. 342. In der Gefangenschaft innerhalb dreier Tage auf einem Teller erbauter Pilzgarten der Sauba oder der Schlepperameise, in welchem Kohlrabi gezüchtet wird. (Nach Möller.)

auf ihm nicht nach ihrem Belieben wachsen, sondern stets nur so wie ihre Gärtner es wünschen. Wie wir Menschen vor zwei- bis dreitausend Jahren beginnend die wildwachsende Kohlpflanze Brassica in Zucht genommen und aus ihr nach und nach die heutigen Formen als Kopfkohl, Blumenkohl, Rosenkohl, Rübkohl oder Kohlrabi, alles Kunstprodukte mit bestimmten, uns Konsumenten nützlichen Eigenschaften, gezogen haben, so haben auch die Pilze züchtenden Ameisen aus wildwachsenden Pilzformen ihren besonderen Zwecken und Wünschen dienliche Kulturformen gezüchtet. Ein solches künstlich hergestelltes Ameisengemüse erzeugen die Blattschneiderameisen in ihren geräumigen unterirdischen Pilzgärten. Sie lassen den von ihnen in Pflege genommenen Pilz niemals richtig auswachsen, sondern halten ihn durch beständig in einer bestimmten Weise unterdrücktes Wachstum in einem gewissen krankhaften Zustande, wie auch unsere verschiedenen Kohlsorten nur krankhaft verbildete Kulturpflanzen sind, die wir gleicherweise in bestimmte, von uns gerade begehrte Formen zwingen. Unter dieser Behandlung schwellen die Enden

Digitized by Google

und Seitenzweige der in den Komposthaufen gezüchteten Pilzfäden zu birnförmigen, etwas in die Länge gezogenen Kölbchen an, die Möller nach einem nicht eben glücklich gewählten Worte als Kohlrabihäufchen bezeichnete.

Diese von den Blattschneiderameisen gezüchteten Kunstprodukte sind durch ihren reichen Gehalt an Eiweißkörpern und Fett ein außerordentlich nahrhaftes Gemüse, das die fast ausschließliche Nahrung derselben bildet. Immer finden sich hungrige Individuen auf den Pilzbeeten ein und inspizieren ihre Gemüseanlagen. Und alle die kleinen weißen Kohlrabiköpfchen, die etwa 0,5 mm Durchmesser aufweisen, werden zur Stillung des Hungers von den Arbeiterinnen in dem Maße als sie sich bilden verzehrt. Daß diese Kohlrabibildung ein ausschließliches Züchtungsprodukt dieser Ameisen sind, wird schon dadurch bewiesen, daß wenn die Ameisen von ihren Pilzgärten herausgefangen werden, an Stelle der Kohlrabi lange Luftmycelien entstehen, so daß das ganze Nest in kurzer Zeit angeschimmelt erscheint. Dieser Bildung von Luftmycelien arbeiten die Ameisen entgegen, indem eine Schar der kleinsten Arbeiter Tag und Nacht damit beschäftigt ist, die vorsprossenden Mycelien abzubeißen und alles Unkraut, bestehend in Schimmelpilzen, auszujäten; denn außer dem Kohlrabi produzierenden Pilz wird kein anderer im Neste geduldet, was um so auffallender ist, als doch mit jedem Blattstückchen eine Unmenge verschiedener Sporen ins Nest eingetragen werden und hier bei den für sie vorzüglichen Existenzbedingungen natürlich sofort aufgehn und wachsen möchten.

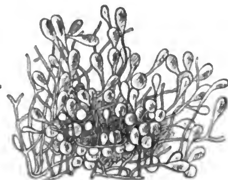


Fig. 343. Kohlrabihäufchen des von den südamerikanischen Blattschneiderameisen auf Mistbeeten gezüchteten Pilzes Rhozites gongylophora. (250fach vergröß.) Nach Möller.

Das Blattmus, auf welchem der Pilz wächst, verliert natürlich mit der Zeit seine Nährkraft; dann wird es vom Pilzgarten abgerissen und in Form von braunen Kügelchen nach außen geschafft, worauf die entstandenen Lücken durch neue zerkaute Blättermassen ausgefüllt werden. In diese werden sofort von den kleinsten Arbeitern Büschel von Mycelfäden eingesteckt, so daß die neuen Partien bald ein schneeiges Aussehen wie die alten zeigen. Die Atta-Ameisen sind also vollkommen Gartenbau treibende und Gemüse ziehende Wesen, die aus einem

Digitized by Google

naturwüchsigen Pilze ein Kulturprodukt heranzüchten, wie es der Mensch auch macht. Ja, sie sind in Wirklichkeit nicht nur die kleinsten, sondern auch die ältesten Gärtner der Welt. Durch ständiges Abnagen der Pilzfäden, die gerne ins Kraut schießen möchten aber dies nicht tun können, zwingen sie sie zu einem bestimmten pathologischen Wachstum und erzielen damit ihr schmackhaftes und sehr nährstoffreiches Gemüse, von dem sie, wie gesagt, fast ausschließlich leben. Entfernt man die Ameisen künstlich von ihren sorgsam gehüteten, nicht nur von Verunreinigungen, sondern auch von allen fremden Eindringlingen bewahrten, stets mit größter Sorgfalt und Sachkenntnis aufgebauten und getriebenen Pilzbeeten, so bildet sich, durch die umsichtigen Gärtner nicht mehr gehütet und im Zaume gehalten, ein üppiges weißes Fadengespinnst, ein reich verzweigtes Pilzmycel, und die Kohlrabibildung, eine in der ganzen Pilzwelt gerade so unerhörte krankhafte Bildung, wie sie etwa der Blumenkohl der Menschen in der übrigen, Blumen erzeugenden Pflanzenwelt ist, hört sofort vollkommen auf. Dafür sammelt das Pilzgeflecht, dessen Wachstum nicht mehr durch die künstliche Beeinflussung der Ameisen auf Abwege geführt wird, die ganze Kraft zur Erzeugung eines stattlichen Fruchtkörpers, eines Hutes, wie ihn die Pilze bei der Fruktifikation stets erzeugen, der das verlassene Nest durchbricht und sich auf dessen Scheitel entwickelt. Durch solche Vergewaltigung der eine derartige Fruchtbildung niemals bei ihren Pfleglingen zulassenden pilzzüchtenden Ameisen hat man dann schließlich nachweisen können, daß die von diesen kleinen Gärtnern gezüchteten Gemüsepflanzen sehr nahe Verwandte unserer wohlschmeckenden Champignons sind. So heißt der Pilz der einzig nur in den Bauen der Atta-Ameise vorkommt und dort seine Kohlrabihäufchen produziert, Rhozites gongylophora. Außerhalb der mit zerkauten Blättermassen angelegten Pilzbeete dieser Ameisen findet er sich nirgends mehr in der Natur. Die Blattschneiderameisen haben ihn ganz für sich in Anspruch genommen und nützen ihn gehörig aus; aber dafür schützen sie ihn auf das beste und sorgen in ihrem eigenen Interesse in jeder Beziehung vortrefflich für sein Gedeihen.

Da der Pilz für die Atta-Ameisen absolutes Lebensbedürfnis geworden ist und derselbe nur in Ameisennestern vorkommt, so muß er bei Neugründung von Kolonien von den alten Nestern stets in die neuen verpflanzt werden. Deshalb nimmt, wie zuerst von Ihering nachwies, ein jedes zum Hochzeitsfluge aus dem mütterlichen Neste sich entfernendes geschlechtsreifes Weibchen in einer unterhalb des Schlundes

Digitized by Google

gelegenen Tasche einen zu einer Kugel geballten Ableger des heimatlichen Kohlrabipilzes als einziges, höchst wertvolles Hochzeitsgut mit in die Fremde, wenn die Tierchen zu Beginn der Regenzeit im Januar und Februar gegen Abend ausschwärmen, um neue Kolonien zu gründen. Nachdem es auf dem lustig wirbelnden Hochzeitsfluge befruchtet worden ist, entledigt es sich zunächst durch Abbeißen seiner Flügel, gräbt da, wo es sich niederlassen will, eine 12 bis 15 mm im Durchmesser haltende, senkrecht in die Tiefe führende Röhre, wobei es die mit den Kiefern losgebröckelten Erdkrümchen nach oben trägt und in einem 4 bis 5 cm breiten Ringwall um die Eingangsöffnung herum aufschüttet. Ist diese Erdröhre 20 bis 40 cm lang geworden, dann wird vom Weibchen eine etwa 6 cm lange, aber nicht ganz ebenso hohe Seitenkammer angelegt und dieser Erdschacht etwa 8 bis 10 cm weit vom Eingange mit einer Erdkugel verschlossen. Auf solche Weise, wie übrigens alle angehenden Ameisenmütter, in die Brutkammer eingeschlossen, legt das Weibchen zunächst 20 bis 30 Eier, die bald in Furchung übergehen. Neben ihnen speit es die mitgebrachte, etwa 0,6 mm im Querschnitt haltende Kugel aus, die aus Fäden des Kohlrabipilzes und den dabei liegenden Stückchen gebleichter Blattreste besteht. Daraus errichtet sie die erste Anlage des Pilzgartens ohne Hinzufügen neuen Blattbreis, den sie ja überhaupt nicht zur Verfügung hat. Die ersten Beobachter glaubten, daß sie die frühesten Anfänge ihrer Pilzkultur auf den mit den Mundwerkzeugen verdrückten eigenen Eiern anlege. Dies ist unrichtig. Da die Ameise keine andere Nahrung hat, so ist sie zunächst darauf angewiesen, von ihren eigenen Eiern zu leben, von denen sie nach und nach nicht weniger als 90 Prozent verzehrt. Nur die nach der Verdauung derselben abgehenden flüssigen Exkremente verwendet sie als Nährsubstrat für den Pilz. Dabei aber verfährt die junge Königin nicht etwa so, daß sie einfach ihre Entleerungen auf die Pilzmasse fallen ließe, sondern sie geht dabei viel gründlicher, wenn auch recht umständlich zu Werke. Sie reißt mit ihren Kiefern ein kleines Stück aus dem Pilzgarten heraus, hält dasselbe gegen den After und drückt einen bräunlichen Tropfen Kot heraus, den sie mit dem Pilzflocken auffängt. Darauf wird dieses unter fortwährendem Befühlen wieder in den Pilzgarten



Fig. 344. Halbschematischer Sagittaldurchschnitt durch den Kopf eines Attaweibchens beim Verlassen des elterlichen Nestes zum Hochzeitsfluge. Die Infrabuccaltasche ist mit Pilzmasse vom elterlichen Neste a gefüllt. Nach J. Huber.

Digitized by Google

eingefügt und darin mit den Vorderfüßen angedrückt, und zwar meist an einer andern Stelle, als wo es herausgenommen wurde. Diese Prozedur wird gewöhnlich ein- bis zweimal in der Stunde vorgenommen. Auf so ausgiebige Weise gedüngt wächst der Pilzgarten rasch heran, erreicht bald einen Durchmesser von 2 cm und erzeugt dann durch die Einwirkung der ihn zur Kohlrabibildung veranlassenden Königin die erwünschten durchsichtigen birnförmigen Gemüseköpfchen. Von diesen ernährt sie sich nun, bis die ersten Arbeiterinnen ausgeschlüpft sind und der Mutter in der Kinderpflege und Pilzzucht behülflich sein können. Fleißig düngen auch sie den Komposthaufen mit ihren Exkrementen in gleicher Weise wie die Mutter, beseitigen 8—10 Tage nach der Gründung des Nestes, sobald sie genügend erstarkt sind, die den Ausgang wehrende Erdmasse und beginnen ihre Ausflüge zum Sammeln von Blattausschnitten zum Anreichern der Pilztreibbeete, die in dem Maße an Umfang zunehmen, als andere Arbeiterinnen die Erdhöhle erweitern und das Nest immer weiter ausbauen. Während nun jeweilen die ältesten Geschwister frische Blattstücke zutragen, zerstückeln die jüngeren, kleineren Glieder der Familie dieselben und tragen sie zu den Pilzgärten hin. Bald reiht sich in der immer größer werdenden Kolonie ein Pilzbeet an das andere, welche in immer größerer Menge die für die Ernährung ihrer Züchter so wichtigen Gemüseköpfchen liefern.

Während des geschäftigen Treibens der Arbeiterinnen halten inzwischen hervorgegangene große dickköpfige Soldatenameisen, deren gewaltige Kiefer ganz fürchterliche Beißzangen darstellen, sehr aufmerksam an den meist verschlossenen Ausgängen des Nestes Wache und fahren bei der geringsten Beunruhigung der betriebsamen Kolonie wie wütende Hunde aus den Löchern, die sich plötzlich vor dem erschreckten Besucher auftun, hervor. Fürsorglich geleiten sie auch als ausgezeichnete Schutztruppe ihre am Tage Blattausschnitte holenden minder bewehrten Geschwister, welche auch bisweilen bei Nacht den Häusern der Menschen Besuche abstatten, um zur Abwechslung einmal sich an Süßigkeiten aller Art gütlich zu tun; denn wie alle Ameisen lieben sie den Honig und die Zuckerlösungen überhaupt außerordentlich und unternehmen nach solchen oft weite Plünderungszüge.

Alle Atta-Arten wie auch Acromyrmex, Apsterigma und andere, hauptsächlich Brasilien bewohnende Ameisen bauen Pilzgärten und kultivieren ihre besondere Art Champignon, aber sowohl die Geschicklichkeit, als auch die Art des Aufbaues der Komposthaufen wechselt bei den verschiedenen Arten, so daß sich alle Übergänge und Abstufungen nachweisen lassen, die

Digitized by Google

uns für die Ausbildung jenes hohen Instinktes eine Erklärung geben. Trachymyrmex, die niederste Untergattung der Gattung Atta, schneidet nur wenige Blumenblätter und sammelt auch anderes Material zu ihren Pilzgärten. Die Aposterigma und einige Cyphomyrmex-Arten sammeln nur noch Raupenkot, züchten einen andern Pilz und bauen überhaupt viel unvollkommenere Pilzgärten. Ja, Möller hat festgestellt, daß von zwei Aposterigma-Arten, welche den gleichen Pilz züchten, die eine (A. Wasmanni) schöneren und vollkommener geformten Kohlrabi zu stande bringt als die andere (A. pilosum). In der Gattung Cyphomyrmex bilden verschiedene Arten rudimentäre Pilzgärten, ähnlich, aber viel weniger gut als die Aposterigma. Einzelne Arten jedoch bilden nur zeitweise und manche, die im abfallreichen Waldboden leben und dort beständig mit Schimmelpilzen in Berührung kommen, die sie als Nahrung gebrauchen, bilden gar keine besondern Pilzgärten. So läßt sich die allmähliche Entwicklung des so überaus merkwürdigen Pilzgärtnereiinstinktes bei den Ameisen übersehen und rekonstruieren.

In dem Bau einer Ameise, die selbst Pilzzucht betreibt, lebt eine andere kleinere Art, Microtermes geheißen, als dienstwillige Sklavin, die, von der stärkeren Art geraubt und in ihre eigenen Nester verbracht, ihr hier untergeordnete Dienste leisten muß. Unfreiwillig in ein solches Dienstverhältnis verbracht, hat auch sie ihren Herrinnen abgesehen und gelernt, wie man Kohlrabi baut. Und so hat sie nun in den Nestern ihrer Herrinnen ihre eigenen Pilzgärten, allerdings kleiner und auf andere Weise angelegt, und zieht da ihr besonderes Gemüse, da wohl die Herrinnen sie kaum je an ihre eigenen Kohlrabibeete gehen lassen und es folglich mit der Ernährung dieser Dienstboten schlecht bestellt wäre, wenn sie nicht gelernt hätten, für sich selbst zu sorgen. Herrin und Magd arbeiten da friedlich nebeneinander und kommen ganz gut miteinander aus. Das Zusammenleben der drei verschiedenen Symbionten ist ein durchaus friedliches und geregeltes.

Aber nicht nur die Insektenordnung der Hautflügler hat in den Ameisen Pilze züchtende und davon vorzugsweise lebende Wesen hervorgebracht, auch die Ordnung der Geradflügler, der die Heuschrecken als bekannteste Repräsentanten angehören, besitzt solche Gartenbau treibende Mitglieder. Es sind dies die in den Tropen allgemein bekannten und gefürchteten Termiten, welche fälschlicherweise als weiße Ameisen bezeichnet werden. In ihren Nestern hat jüngst Doflein aus München in Ceylon auffallende knollige Massen gefunden, die sich beim genaueren Zusehen als regelrecht angelegte Pilzkulturen erwiesen. Sie finden sich

Digitized by Google

in kokosnußgroßen Kammern im Innern des Nestes und erinnern in ihrem Aussehen ebenfalls an Badeschwämme. An ihnen bilden sich durch Wucherungen des betreffenden, nur in diesen Nestern in Abhängigkeit von den Termiten gefundenen Pilzes stecknadelkopfgroße Knötchen, welche von den Larven der Arbeiter und Soldaten dieses Insektenstaates gefressen werden. Auch die zur Fortpflanzung bestimmten Individuen jeden Alters bekommen davon, während die erwachsenen Arbeiter und Soldaten auf andere Nahrung angewiesen sind. Wie bei den Ameisen werden diese Pilzkulturen von den Termiten auf einem Mistbeet von eingetragenen und gekauten Blättern verschiedener Pflanzen gezüchtet.

Noch viel länger als diese Pilzzucht der Termiten ist übrigens diejenige der Borkenkäfer bekannt. Im Gegensatz zu den gewöhnlichen Borkenkäfern, die zwischen Rinde und Splint des Baumes leben und sich von der Substanz des Baumes selbst ernähren, graben diese ihre Gänge tief ins Kernholz hinein und verzehren nicht die Holzfaser selbst, sondern leben von den Erzeugnissen von Pilzen, die sie systematisch in den Gängen züchten. Überall in diesen letzteren sind Pilzrasen vorhanden, in deren Umgebung das Holz regelmäßig schwarz verfärbt erscheint, als ob man diese Gänge mit einem glühenden Drahte gebohrt hätte. Kein anderes holzbohrendes Insekt zeigt eine solche schwarze Verfärbung seiner Gänge. Ihre wohlausgebildete Brutpflege hängt aufs innigste mit ihrer Pilzzucht zusammen. Und zwar hat der Amerikaner Hubbard zuerst gefunden, daß die verschiedenen Borkenkäferarten stets auch verschiedene Pilze züchten, daß höchstens einmal zwei sehr nahe verwandte Arten denselben Pilz besitzen und daß die Art des Pilzes nicht vom Nährbaum abhängt, sondern lediglich ein Züchtungsobjekt der Käferart darstellt, d. h. daß der spezifische Nährpilz einer Borkenkäferart in jeder Käferwohnung gleich gut gedeiht, also nicht auf eine eigene Baumart angewiesen ist, so daß der Käfer gezwungen wäre, je nach der Art des Baumes, in welchem er seine Brutgänge anlegt, verschiedene Pilze zu züchten, hier diesen und dort jenen. Vielmehr hat jede Käferart ihren spezifischen Pilz, den sie mitnimmt und überall da züchtet, wo sie es für gut findet, ihre Wohnung aufzuschlagen, also in den verschiedensten Bäumen, in Nadelhölzern so gut wie in Laubbäumen.

Die Pilze lassen sich nach ihrer Gestalt und ihrem Wachstume in zwei Gruppen unterbringen: 1. in solche mit aufrechtstehenden Fruchtträgern, die an ihrem Ende oder an deren Verzweigungen die Conidien

Digitized by Google

in Gestalt kugelig angeschwollener Zellen tragen, 2. in solche, welche Ketten von mehr oder weniger kugeligen Zellen bilden und in Haufen von unregelmäßiger Form zusammenliegen. Letztere Form ist ausschließlich bei den Käfern gefunden worden, die eine geordnete Brutpflege besitzen und demgemäß ihre Larven in getrennten Zellen oder Wiegen unterbringen; erstere dagegen kommt bei allen den Gattungen vor, welche gemeinschaftliche Familienwohnräume anlegen, aber kein so geordnetes Brutpflegewesen haben.

Alle von den Borkenkäfern gezüchteten Pilze sind sehr saftig und zart, besonders die Fruchtträger, die Conidien, welche ganz durchsichtig erscheinen und wie Tautropfen glänzen. Zur Zeit des besten Wachstums der Pilzgärten werden sie in Unmasse produziert und von den Käfern verzehrt oder an ihre Jungen verfüttert. In solchen Zeiten sehen die Wände der Freßgänge aus, als wären sie mit Rauhreif überzogen. Die jungen frischen Fruchtträgerspitzen mit den kugeligen Conidien bilden überhaupt die einzige Nahrung der jungen Larven, die sie abweiden, wie Kälber die Blütenköpfchen des saftigen Klees abrupfen und fressen. Die alten Käfer verfahren schon etwas weniger verschwenderisch als sie, indem sie die Pilzrasen bis zum Boden abweiden, von wo aus sie stets wieder von neuem emporsprießen. Dieses kluge Verfahren kann passend mit dem menschlichen Vorgehen bei der rationellen Spargelzucht verglichen werden: so lange der Spargel regelmäßig von Grund aus abgestochen wird, bleibt er zart und schmackhaft, schießt er aber ins Kraut, so ist es mit der Schmackhaftigkeit vorbei. Deshalb muß der Pilzrasen kurz gehalten werden, und ferner auch wegen der zu schnellen Reife der Sporen, die, im Übermaß produziert, alles überstreuen und anfüllen, und so eine Erstickungsgefahr für die Bewohner der Pilzgärten bilden würden. Derartige Erscheinungen treten besonders dann auf, wenn eine Familie dieser pilzzüchtenden Borkenkäfer aus irgendwelchen Gründen so weit geschwächt ist, daß sie nicht mehr fähig ist, das Wachstum ihrer Pilzkulturen in gewissen Schranken zu halten, so daß eine Überproduktion derselben stattfindet. Dann ersticken die Tiere, nachdem sie in ihrer Angst und Verzweiflung ihre sämtlichen Pilzkulturen, über die sie nicht mehr Meister sein können, zu einer schlammigen Masse zerstämpft und dabei Eier und Larven zertreten haben, in dieser kleisterartigen Substanz.

Die Aussaat, das Wachstum und die Reife der Pilze ist ganz der Aufsicht des Mutterkäfers unterstellt. Dieser pflanzt die Mycelfäden auf sorgfältig zubereitete Beete von Holzbohrmehl, bald in der

Digitized by Google

Nähe des Eingangs, noch in der Nachbarschaft der Rinde, meist aber am Ende eines Ganges im Holz, so daß die als Ambrosia bezeichnete Pilzspeise gewissermaßen in eigenen Kammern gezogen wird. Bei andern Arten wieder liegen die Pilzbeete in der Nähe der Larvenwiegen und hier wird auch der Kot der Larven vom Mutterkäfer zum größten Teil zur Düngung und Aufhöhung der Pizbeete benützt. Außer dem Dung haben nun die Pilze auch eine gewisse Feuchtigkeit zu ihrem Gedeihen nötig; in Würdigung dieses Umstandes siedeln sich daher die pilzzüchtenden Bohrkäfer niemals in ganz ausgetrockneten Bäumen an, sondern nur in solchen, die noch Saft genug besitzen. Am liebsten ist es ihnen, wenn der Saft nicht ganz frisch ist, sondern sich bereits im Zustande einer gewissen Gärung befindet, wie es bei kränkelnden Bäumen häufig der Fall ist. Einzelne Pilzzüchter indessen, wie die Cothylus-Arten, scheinen dieser Gärung für die Anlegung ihrer Kulturen nicht zu bedürfen, sie fallen daher auch vollsaftiges Holz an; andere allerdings wie Xyleborus perforans können sogar alkoholische beziehungsweise weinige Gärungsprodukte vertragen und legen daher ihre Brutgänge mitunter in den Dauben von Wein- und Bierfässern an, so daß sie hierdurch, wie beispielsweise der in Ostindien als Tippling Tommy berüchtigte Bohrkäfer, großen Schaden durch Leckwerden von Vorräten von solchen Flüssigkeiten verursachen können.

Die geschilderten schwierigen, häufig genug unsicheren Verhältnisse der Futterproduktion bewirken nun, daß diese Pilzzüchter im allgemeinen nur eine Generation haben und nur unter sehr günstigen Umständen zu zwei bis drei Generationen in demselben Baume leben können, bis das Ausbleiben der Feuchtigkeit im Holze sie zwingt, andere Brutstätten aufzusuchen. Deckt man nun ihre Wohnungen auf, so macht man ähnliche Beobachtungen, wie wenn man ein Bienenvolk stört: die erschreckten und verwirrten Bewohner suchen das Kostbarste, das sie besitzen, zu retten — die Bienen, indem sie von ihren Honigvorräten, die Borkenkäfer indessen, indem sie von ihren Pilzen schleunigst so viel als möglich essen und auf die Seite schaffen.

Kehren wir nach diesem kurzen Abstecher in andere Insektengattungen, die ebenfalls Gemüsezucht treiben, zu dem interessanten Volke der Ameisen zurück, so muß hier erwähnt werden, daß außer dem Imbaubabaum Südamerikas, der in seinen hohlen Stengelgliedern Herbergen für sie einrichtet, auch zahlreiche andere Holzgewächse der Tropen solche myrmekophile Einrichtung zur Einquartierung von Schutzameisen getroffen haben. Von solchen Ameisenpflanzen ver-

Digitized by Google

dienen vor allem auch die als Epiphyten auf Bäumen wachsenden Rubiaceen Indonesiens, die Myrmecodia- und Hydnophytumarten, eine kurze Beschreibung. Diese Überpflanzen besitzen knollig aufgetriebene holzige Stämme von oft mehreren Dezimetern Durchmesser, die im Innern vollständig von unregelmäßigen Gängen durchsetzt sind, als ob Ameisen sie angefressen hätten. Diese sehr treffend als „lebende Ameisen-

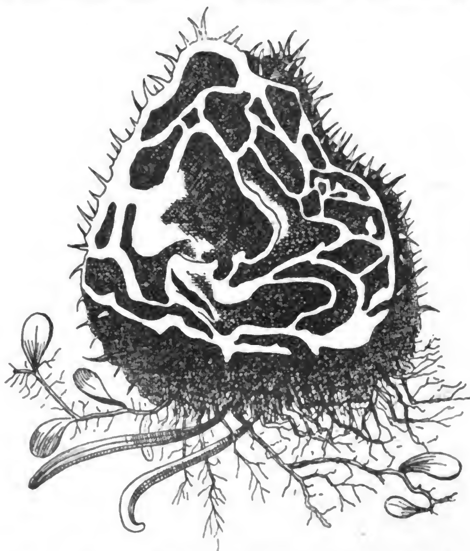


Fig. 345. Querschnitt durch den verholzten Stammknollen der Ameisenpflanze Myrmecodia echinata aus dem malaischen Archipel, an welchem unten noch ein epiphytischer Farn aufsitzt (natürl. Größe), nach Schimper.

nester" bezeichneten Vertreter der Krappgewächse, die in einem nahen Verwandtschaftsverhältnis zu den China- und Kaffeebäumen stehen, sind von sehr bissigen Völkern besetzte Ameisenherbergen, deren Logiergäste den Wirtsbaum in der Tat aufs beste beschützen. Man erhält zunächst den Eindruck, daß die Auftreibungen an ihren Stämmen vermutlich durch den Reiz der krabbelnden Insekten oder gewisser von

Digitized by Google

ihnen abgesonderter Säfte, ähnlich wie die Gallenwucherungen an den Blättern, entstanden seien. Aber der Direktor des bekannten botanischen Gartens in Buitenzorg bei Batavia auf Java, Treub, hat durch Samenzucht dieser Pflanzen unter Glasglocken, wobei der Zutritt von Ameisen sorgsam verhindert wurde, sich überzeugt, daß heute wenigstens diese eigentümlichen, von Durchlöcherungen und Gängen durchzogenen Anschwellungen der Stämme vollkommen erblich sind, so daß die Ameisen, wenn sie die für sie bereitete Herberge beziehen, dieselbe vollkommen fertiggestellt vorfinden. Natürlich verteidigen sie eifrig ihr Haus und stürzen sich, wie der englische Naturforscher Forbes am eigenen Leibe erfuhr, scharenweise mit giftigen Bissen auf einen jeden, der die Pflanze zu berühren wagt. Es scheint, daß das wunderbare Kanalsystem des Stammes, wie auch die analogen Höhlungen anderer myrmekophiler Pflanzen, hier ursprünglich durch die Aufnahme einzelner Bewohner, die sich in der Folge nützlich erwies, angebahnt und nach und nach erweitert wurde, bis es schließlich bei der Pflanze selbst erblich wurde, und so schon im voraus, bevor sich irgendwelche Ameisen eingefunden haben, angelegt wird.



Fig. 346. Kartonnest der brasilischen Ameise Azteca trigona subspec. mathildae Forel (nach Photogramm von Göldi).

Während die Ameisen in den Fällen, daß sie sich ihre Wohnungen selbst errichten müssen, sie bei uns meist in die Erde oder in morsches altes Holz bauen, sind in Südamerika, Afrika und Indien frei an Bäumen aufgehängte Kartonnester eine häufige Erscheinung. Ist auch ihre Form sehr verschieden, indem sie sich ganz nach der Örtlichkeit richtet, so haben sie das Gemeinsame, daß sie, wie der Name schon sagt, aus einem feinen, vielfach mit Erde vermischten Holzmehl und Leim hergestellt werden, welch letzterer aus der bei diesen Arten ungewöhnlich großen Oberkieferdrüse herstammt. Die Kartonwände sind überall von einem dichten Pilzrasen durchwachsen, den die Inhaber der

Digitized by Google

Wohnungen ebenfalls absichtlich züchten; dadurch erwächst ihnen ein doppelter Vorteil. Nicht nur dienen ihnen die langen braunen Pilzfäden, die auf den Innenwänden einen samtartigen Flaum erzeugen, als höchst willkommene, schmackhafte Nahrung, sondern das Durchzogenwerden von dem Pilzmycel verleiht dem Karton wie das Schilfrohr dem Mörtelbewurf unserer Hauswände eine größere Festigkeit. Außerdem kann auch noch die schleimabsondernde Eigenschaft des Pilzmycels vorteilhaft zum Zusammenkitten des Baumaterials dienen.

Aber diese Tausendkünstler unter den Kerfen errichten teilweise noch viel künstlichere gesponnene Nester. Die Nestwand einer Art in Ceylon und Indonesien besteht beispielsweise aus kleinen Steinchen und pflanzlichen Schollen, die statt durch Kitt, wie bei den Kartonnestern, durch ein feines Gespinst zusammengewoben sind. Bei andern Arten wird gar kein fremdes Material mehr benützt, sondern das Nest besteht aus reinem, bräunlich-gelblichem Seidengespinst. So gibt es in Indien, Australien und Afrika Oecophylla-Arten, in Brasilien Camponotus senex, die solche Gespinstnester herstellen. Und zwar verwenden diese Ameisen lebende Blätter dazu, welche sie zusammenbiegen und an ihren Rändern mit einem dichten Seidengespinst verbinden. Mit demselben seidenartigen Gewebe werden auch alle Lücken und Öffnungen zwischen den Stielen usw. ausgefüllt.

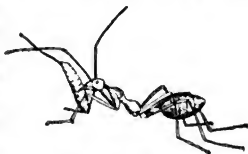


Fig. 347. Arbeiter einer Oecophyllakolonie mit einer Larve im Munde, die als Weberschiffchen zur Herstellung des Gespinstnetzes benützt wird.

Wie aber in aller Welt kommen diese Ameisen, die doch besonderer Spinndrüsen vollständig entbehren, dazu, solche Gewebe herzustellen? Nun, sie wissen sich zu helfen. Sie nehmen eben den Spinnstoff nicht aus ihrem eigenen Körper, sondern beziehen ihn von ihren Larven, welche sie als Weberschiffchen benützen! Die zu verbindenden Blätter werden erst von den Ameisen vermittelst ihrer Kiefer einander möglichst genähert, indem eine ganze Reihe von Arbeitern sich gegenseitig in die Hände arbeitet. Dann kommen andere in großer Zahl aus dem Innern des Nestes, jede eine Larve im Maule haltend. Diese haben ganz enorme Spinndrüsen, die, wie Chun sich ausdrückt, „an ungewöhnlicher Entwicklung alles überbieten, was wir von den gleichen Drüsen sonstiger Hymenopteren, speziell auch der Ameisenlarven kennen. Sie bestehen aus vier mächtigen, den Körper in ganzer Länge

Digitized by Google

durchziehenden Schläuchen, welche sich jederseits vereinigen und zu einem auf der Unterlippe ausmündenden Gang zusammenfließen". Indem sie nun mit ihren lebendigen Weberschiffchen hin und her, vom einen Rande des Blattes zum andern fahren, bleibt überall, wo der Mund der Larve das Blatt berührt, ein Gespinstfaden hängen. Dieser Prozeß wird so lange wiederholt, bis die in das Nest einbezogenen Blätter an ihren Rändern durch ein haltbares Gewebe verbunden sind und schließlich eine Art Seidenstoff sich bildet, der aus unzähligen übereinanderliegenden und sich kreuzenden Spinnfäden besteht. Auch Gespinstgürtel um die Stämme zum Schutze gegen das Vordringen einer anderen kleinen Ameisenart werden nach Halland auf solche Weise von dieser Oecophylla mit Hilfe ihrer im Maule dorhin transportierten Larven ausgeführt. Wir Menschen bilden uns ein, daß wir die einzigen Wesen dieser Erde seien, die von unserm Körper getrennte Werkzeuge benützen. Das ist nun eine durchaus falsche Annahme. Die Ameisen, diese verachteten Kerfe, die wir mitleidlos zertreten, wenn sie uns über den Weg laufen,



Fig. 348. Die Reparatur eines Nestes von Oecophylla smaragdina auf Ceylon (nach Doflein).

die sind schon dazu gekommen nicht nur Viehzucht, Ackerbau und Gartenwirtschaft zu treiben, sondern auch richtige Werkzeuge zu gebrauchen und regelrecht zu spinnen bevor es noch Menschen, wie sie heute leben, auf Erden gab. Sie sind ein so überaus merkwürdiges und interessantes Geschlecht, daß sie ein Kapitel für sich beanspruchen dürften. Wie bei den Menschen gibt es bei ihnen einfachere und kompliziertere soziale Verhältnisse der verschiedensten Art. Neben den ansässigen, Nester bauenden Arten gibt es Nomaden, die sich während der kurzen Zeit, da sie sich in einer Gegend aufhalten, einfach in natürlich vorhandenen Höhlen, Erd- oder Felsspalten, alten Baumstämmen und dergleichen bergen. Es sind dies die Dorylinen, die sich dann in ihren Verstecken zu mächtigen Klumpen zusammenknäueln, in denen die Larven und Puppen verwahrt werden. Von diesem „lebenden Nest ohne Haus" werden die Raubzüge unternommen und zu ihm wird die Beute gebracht.

Auf einer weit höheren sozialen Stufe, als diese primitiven, räuberischen Troglodyten, sind die verschiedenen Bewohner von Dauer-

Digitized by Google

nestern, die sie in allen nur irgendwie erdenkbaren Bauarten errichten und von denen aus regelrechte Straßenbauten, Pavillons usw. nach außerhalb führen. Den von ihnen errichteten Straßen begegnet man auf Schritt und Tritt in unsern Gärten, auf Wiesen, Feldern und in Wäldern. Vom Neste aus strahlen sie nach allen Richtungen ziemlich geradlinig dem Ziele zustrebend aus und weichen nur allzugroßen Hindernissen im Bogen aus. Ihre Länge kann bis 50 m und mehr betragen, und zwar sind es richtig angelegte, nicht etwa nur durch die Tritte der Darüberschreitenden von selbst entstandene Straßen. Systematisch werden bei ihrer Anlegung alle im Wege stehenden Hindernisse sorgfältig weggeräumt, vor allem die Grasstengel usw. abgebissen; sodann wird der Boden geglättet oder auch mehr oder weniger ausgehöhlt, so daß sich eine flache Rinne bildet. Ist die Straße fertiggestellt, so wird sie sorgfältig bewacht und unterhalten, indem die natürlich sehr häufigen Zerstörungen sofort repariert werden.

Manche Arten begnügen sich aber nicht mit solchen offenen Wegen, die ihre Benützer der Sonnenhitze, wie dem Regen und feindlichen Blicken aussetzen, sondern überwölben dieselben noch sorgfältig mit einem festen Erdgewölbe. Manchmal wechseln offene und gedeckte Partien auf ein und derselben Straße mit einander ab, oder die Straße verschwindet auch plötzlich in der Erde, um erst nach einer mehr oder weniger langen unterführten Strecke wieder zum Vorschein zu kommen. Auch hier zeigt sich eben wie beim Nestbau das kluge Anpassungsvermögen dieser Tierchen an die vorgefundenen Verhältnisse. Auf diesen geebneten Wegen kann eben rasch marschiert und die Beute bequem nach Hause getragen werden; zugleich verirrt man sich auf ihnen weniger, indem es nur zwei Richtungen gibt. Wenn auch gewöhnlich ein- und dieselbe Straße als Hin- und Herweg benützt wird, so gibt es auch solche Kolonien, deren Mitglieder, um sich nicht gegenseitig zu belästigen, auf besondern Wegen ausziehen und auf andern heimkehren.

Die Straßen führen zu Plätzen, an denen besonderer Überfluß an Nahrung vorhanden ist, sehr häufig zu Blattlauskolonien, die ihnen reichlichen Zuckersaft liefern. Nicht selten errichten gewisse Arten wie Lasius und Myrmica um die letzteren noch besondere Gewölbe, um die geschätzten Nahrungslieferanten vor der Unbill des Wetters und vor Feinden zu schützen, sie auch vor Konkurrenten zu sichern. Solche Blattlauspavillons findet man bei uns des öfteren auf Sträuchern und Bäumen. In den Tropen kommen sie in noch viel größeren Dimensionen

Digitized by Google

vor; so beobachtete Dahl im Bismarckarchipel von Oecophylla-Arten errichtete Blattlausställe von einem Durchmesser von 40 cm. Nach diesem Autor baut dieselbe Ameise außer diesen Ställen auch besondere Futterhäuser in Form von „zeltartig ausgespannten, allseitig abgeschlossenen Überdachungen einzelner Ästteile“, an solchen Stellen, wo Saft aus den Bäumen ausfließt, der ebenfalls eine sehr beliebte Nahrung bildet. Diese Überdachungen dienen dazu, den Saft vor Regen zu schützen, damit er durch letzteren nicht weggeschwemmt werde, sich vielmehr etwas eindicken könne, da er mit steigender Konzentration um so nahrhafter und besser ist. Übrigens wird in den heißen Ländern die Blattlauszucht oft durch diejenige von ebenfalls zuckerspendenden Cicaden ersetzt, denen ebenfalls von den Ameisen zum Schutze und zur leichteren Beaufsichtigung Ställe aus mit Speichel zusammengekitteter Erde gebaut werden. In diese ihre Ställe tragen die stallfütternden Ameisen auch die Eier der betreffenden Honigspender und verbinden sie sogar durch gedeckte Gänge mit ihrem Neste, um ihnen bei jedem Wetter Besuche abstatten zu können.

Während die schwächeren Arten sich für gewöhnlich mit pflanzlicher Kost begnügen müssen, jagen stärkere Völker einzeln oder in geschlossenen Trupps, oft förmlichen Heeren nach tierischer Beute. So führen die vorhin erwähnten Dorylinen oder Wanderameisen von ihren Wandernestern ungeheure Raubzüge aus, bei denen sie alles Lebendige, wie Schwabenkäfer, Spinnen, Ratten, Mäuse angreifen, töten, zerstückeln und heimtragen, um die Jungen und deren Verpfleger damit zu füttern. Wenn sie ein bewohntes Menschenhaus überfallen, müssen alle Bewohner es schleunigst verlassen, und sie tun es gerne, da in wenigen Stunden alles Ungeziefer getötet, zerstückelt und weggetragen ist. Kleine Kinder müssen vor den Eindringlingen geschützt und weggenommen werden; aber bald sind die Ameisen mit ihrer Beute wieder verschwunden.

Die meisten Ameisen liegen am Tage dem Nahrungserwerbe ob, manche aber, wie die Honigameisen im Süden des nordamerikanischen Staates Colorado, fouragieren nur des Nachts. Während bei uns die Ameisen über die magere Zeit des Nahrungsmangels nichts fressen und eine Art Winterschlaf halten, indem sie sich in die tiefsten Regionen des Nestes zurückziehen und sich hier ganz ruhig verhalten, um den Stoffwechsel auf ein Minimum herabzusetzen, ist dies schon im südlichen Europa und in den Subtropen nicht mehr der Fall, da die Temperatur hier zu hoch ist, um die Ameisen zur Ruhe kommen zu lassen. Deshalb sammeln diese teilweise vorsorglich in den Zeiten des Überflusses für die mageren

Digitized by Google

Tage, da die Vegetation an Dürre zu leiden hat. So war bereits von den körnersammelnden Ameisen die Rede, welche riesige Mengen Pflanzensamen nicht etwa im ganzen Nest zerstreut, sondern fein säuberlich in großen unterirdischen Kornkammern aufhäufen. Aus einem einzigen solchen „Korngewölbe" kann man bis zwei Hände voll Getreidekörner ernten, so daß man begreift, daß im Talmud Regeln dafür festgesetzt sind, wem die in den Ameisennestern aufgespeicherte Getreidemenge zuzusprechen ist.

In Bezug auf die Pflanzenarten sind beispielsweise die in den Mittelmeerländern wohnenden Körnersammler durchaus nicht wählerisch, da sie von allen Pflanzen, die in der Umgebung des Nestes stehen, Samen eintragen. Moggridge zählt nicht weniger als 28 Pflanzenarten auf, deren Samen er in den Nestern von Messor barbarus und structor fand, und bemerkt hiezu, daß die Zahl erheblich vermehrt würde, wenn er auch die Samen, welche er die Ameisen einschleppen sah, die er aber im Neste nicht auffinden konnte, mitrechnen würde. Dabei sammeln diese Ameisen nicht nur die ausgefallenen Samenkörner, sondern vorzugsweise erklettern sie die Pflanzen selbst und schneiden hier die der Reife nahen Samen ab. Außerdem nützen sie jede Gelegenheit aus, die ihnen eine bequeme Ernte ermöglicht. Wo z. B. Getreidemagazine in der Nähe sind, besuchen sie einfach diese und füllen von hier aus rasch und leicht ihre Vorratskammern. Auch durch Raubzüge setzen sie sich mitunter in den Besitz der nötigen Vorräte, indem sie in die Nester anderer Ernteameisen eindringen und deren Vorratskammern ausplündern, gleichwie ja auch die Bienen gerne in Zuckerfabriken räuberisch einfallen und nicht selten den Honig fremder Völker stehlen.

Die eingetragenen Körner werden zunächst gereinigt, dann geschält und die leeren Hülsen nach außen geschafft, wo sie die Umgebung des Nesteinganges bedecken. Die Körner selbst werden in besondere gewölbte Kammern eingetragen und bleiben hier aufgespeichert bis die Ameisen ihrer zur Nahrung bedürfen. Obschon die Samen selbst entwicklungsfähig bleiben, keimen sie doch während der ganzen Lagerzeit nicht. Dies erreichen die Ameisen wahrscheinlich nur durch möglichste Trockenhaltung und nicht etwa, wie manche Forscher vermuten, durch eine bisher unaufgeklärte spezielle Behandlung des Samens. Stets bevor sie sie verzehren bringen sie sie durch Anfeuchtung zur Keimung in der Absicht, das darin enthaltene Stärkemehl in Zucker zu verwandeln, welcher ihnen besonders zusagt. Moggridge beobachtete ferner, daß die Ameisen zunächst die hervorsprossenden Keimchen abnagten, dann die

Digitized by Google

Samen an die Sonne zum Trocknen brachten und sie endlich wieder ins Nest schafften, wo sie verzehrt wurden. Es ist also ein regelrechter Malzprozeß, dem diese Tierchen ihr Korn unterwerfen. Daß sie die Vorräte, wenn sie zu feucht geworden sind, jeweilen aus den Kammern an die Oberfläche schaffen und da an der Sonne trocknen, wurde bei ihnen ebenfalls schon oft beobachtet.

Nach dem Prinzip der Arbeitsteilung werden die Funktionen, welche das Geschäft des Erntens usw. erfordert, stets von verschiedenen Individuen übernommen. Die einen schneiden die Samen ab, die andern tragen sie zum Nest, wieder andere nehmen sie diesen ab und schleppen sie zu den Vorratskammern, und auch hier sind wieder besondere Individuen tätig, welche die Samen aufstapeln und sie zweckmäßig behandeln. Diese letzteren sind auch klein, wie die Zwerge der Pilzzüchter, und scheinen das Nest niemals zu verlassen, sondern sich ausschließlich mit Hausarbeiten zu beschäftigen. Wie bei den Pilzzüchtern finden wir auch hier alle Übergänge vom gelegentlichen Körnersammeln bis zum regelrechten Getreideaufstapeln.

Andere Ameisenarten tragen statt Körner Honig ein, um sich Vorräte für die magere Jahreszeit zu beschaffen. Es sind dies die bereits erwähnten Honigameisen, Myrmecocystus melliger und hortus deorum, von Colorado, richtige Bürger des Landes der unbegrenzten Möglichkeiten. Da sie nun allerdings noch nicht auf die Kunst der Töpferei verfallen sind und auch keine anderweitigen Behälter zum Aufspeichern ihrer Vorräte, wie etwa die Bienen in ihren Zellen, herzustellen vermögen, wissen sie sich als praktische Amerikaner auf andere Weise zu helfen.

Einige der Arbeiter, so viel eben nötig sind, stopfen ihren Kropf bis zur äußersten Möglichkeitsgrenze mit Honig voll, so daß er den ganzen Hinterleib ausfüllt und ihn enorm auftreibt, so daß die Segmentplatten, die sich sonst berühren, weit von einander abstehen und die gelbe Honigfarbe durch die dünnen Intersegmentalhäute durchschimmert. Diese Honigträger, die sich begreiflicherweise kaum rühren können, hängen dann die meiste Zeit ihres Lebens als lebende Magazine in besondern, als Vorratskammern errichteten Gewölben, welche sich von den gewöhnlichen Kammern durch eine rauhe Decke unterscheiden, damit eben diese Honigträger sich besser daran festhalten können. Die Zahl dieser letzteren richtet sich natürlich nach der Bevölkerungsziffer der betreffenden Kolonie. In einem Nest, das mehrere tausend Arbeiter enthielt, zählte Mc Cook gegen 600 solcher „Honigschläuche". Je nach dem Füllungsgrade ist

Digitized by Google

ebenfalls ihr Gewicht verschieden. Derselbe Forscher berechnete, daß etwa 1000 Stück 1/2 kg Honig geben. Da nun der Honig natürlich auch für die Menschen genießbar ist, so werden die Honigträger fleißig von den Eingeborenen gesammelt. Der durch Auspressen des Hinterleibs — wobei natürlich die Ameise zugrunde geht — gewonnene Honig wird entweder roh gegessen oder auch zur Bereitung eines alkoholischen Getränks verwendet. Auch als Heilmittel ist er beliebt, indem er als Balsam auf gequetschte und entzündete geschwollene Glieder gelegt wird.

Diese merkwürdigen nordamerikanischen Honigameisen wandern nächtlicherweile im Gänsemarsch zu ihren Honigquellen auf den Zwergeichen. Von den Stichen einer Gallwespe, Cynips quercus-melleriae, entstehen nämlich auf deren Zweigen Gallen, die so lange sich die darin befindliche Larve entwickelt, einen klaren süßen Saft ausschwitzen, der sich auf der Oberfläche in kleinen Tröpfchen sammelt. Ist eine Galle abgeleckt, so gehen sie zu einer andern und fahren damit so lange fort, bis sie ihren Kropf ordentlich gefüllt haben. Dann kehren sie, gewöhnlich schon gegen Mitternacht, in ihr Nest zurück, geben dort zunächst den hungernden Arbeitern, die zum Schutz des Nestes und der Brut zurückblieben, etwas ab und verfüttern den Rest an die lebenden Honigtöpfe, so weit diese noch aufnahmefähig sind. Da diese Art sich vorzugsweise vom Safte der Eichengallen zu ernähren scheint, ist das Aufspeichern von Honig sehr angebracht, da die Gallen, wie gesagt, nur während der Entwicklung der Gallwespenlarve, also nur eine beschränkte Zeit, Nektar ausscheiden. Wollen daher die Ameisen nicht während der übrigen Zeit, da kein Honig fließt, hungern, so müssen sie wohl oder übel Vorräte sammeln. Und da sie die Kunst, wasserdichte Gefäße herzustellen, wie die Bienen, nicht gelernt haben, so bleibt ihnen kaum ein anderer Ausweg übrig, als ihre stark ausdehnungsfähigen Kröpfe als Gefäße zu benützen. So nährt sich in der mageren Jahreszeit die ganze Gesellschaft fast ausschließlich von den in den Honigträgern aufgespeicherten Vorräten. Sobald die Arbeiter Hunger empfinden, steigen sie hinab in die Gewölbe, an deren Decke die Dickbäuche hängen, und betasten die letzteren, welche sich daraufhin durch Abgabe eines Honigtropfens erleichtern. Auch hier gibt es alle Übergänge von Arten, bei denen gewisse Individuen sich den Kropf zeitenweise zum allgemeinen Besten stark mit Honig füllen, sich dabei immer noch sehr gut bewegen können und sich auch außerhalb des Nestes auf Blumen und andern Honigquellen einfinden, bis zu diesem Extrem bei den Honigameisen, von welchen auch in Südafrika und Australien gewisse Arten nachgewiesen wurden, bei denen die sich

Digitized by Google

zu lebenden Vorratsgefäßen abgebenden Individuen sich so weit aufopfern, daß sie eigentlich nur noch passive Gebrauchsgegenstände sind.

Es gibt außer etwa den Termiten, Bienen und Wespen keine Tierart, die in solchem Maße wie die Ameisen die sozialen Instinkte entwickelt haben, so daß sie an gesellschaftlicher Organisation selbst die menschenähnlichsten Wirbeltiere weit übertreffen. Obschon sie sich sowohl gegen fremde Völker, als auch gegen die meisten Tiere direkt feindlich verhalten, so kommen auch hier nicht wenige Ausnahmen vor, indem ein Freundschaftsverhältnis zwischen ihnen und gewissen bei ihnen Logis nehmenden Gästen sich ausbildet, das man als Myrmekophilie bezeichnet. Über dieses ungeheure Gebiet der Ameisenfreundschaft, dessen Erforschung der Jesuitenpater E. Wasmann begann, ließe sich ein besonderes Buch schreiben. Doch wollen wir uns hier damit begnügen, eine kurze Übersicht über die verschiedenen bei Ameisen vorkommenden Arten von Symbiosen zu geben.

Schon beim Zusammenleben von Ameisen der einen Art mit solchen einer anderen, durchaus fremden Art, die wir als soziale Symbiose bezeichnen, bietet sich eine Menge von interessanten Verhältnissen. Nach Wasmann haben wir dabei folgende verschiedene Arten zu unterscheiden:

1. Die in sogenannten zusammengesetzten Nestern bei einander wohnenden Ameisen verhalten sich zu einander feindlich. Solches feindliches Zusammenleben, auch Echthrobiose genannt, tritt in den meisten Fällen in der Weise auf, daß eine kleinere schlaue Diebsameise sich in der Wohnung einer größeren, gutmütigen Ameisenart einnistet. Den Typus dieser Diebsameisen stellen die kleinen Solenopsis-Arten dar, welche kaum je für sich, sondern fast stets mit andern größeren Ameisen zusammenleben, ihre Nester entweder gerade neben oder gar in jenen ihrer Nachbarinnen anlegen und von ihren feinen, für die Arbeiterinnen der größeren Ameisenart unzugänglichen Diebspfaden aus die Hausherrinnen, so oft sie können, bestehlen. Nur kleine Ameisen, wie z. B. unsere gemeine Rasenameise, vermögen sich dieser überaus lästigen und zudem oft empfindlich stechenden Gäste zu erwehren, während die größeren Arten diese kleinen Gegner kaum sehen und gegen ihre heimtückischen Überfälle ganz machtlos sind.

Zu den regulären Synechthren gehören auch eine ganze Anzahl zu den Staphylinen gehörender Käfer, die ein offenes Zusammentreffen mit den Ameisen möglichst zu vermeiden suchen; deshalb halten sie sich meist verborgen, entweder vor dem Nesteingang oder in versteckten

Digitized by Google

Winkeln im Nest, oder sie verschanzen sich sogar durch einen kleinen Erdwall vor den vorübergehenden Ameisen und wagen nur bei kühler Temperatur, besonders Nachts sich den Ameisenknäueln zu nähern. Dazu suchen sie sich durch Mimikry bezüglich Körpergröße und Färbung den betreffenden Wirtsameisen, bei denen sie sich einlogiert haben, möglichst anzupassen, damit sie bei ihren räuberischen Überfällen, die hauptsächlich der Ameisenbrut gelten, möglichst unerkannt bleiben. Dieses gar nicht so vereinzelte Zusammenleben von räuberischen Gästen in Kolonien von friedlichen Ameisen hat der schweizerische Ameisenforscher Prof. August Forel als Lestobiose, der Amerikaner Wheeler dagegen als Kleptobiose bezeichnet.

2. Zwei Ameisenarten leben völlig indifferent beieinander, trennen sich in den zusammengesetzten Nestern oft nicht einmal durch Scheidewände, ein Verhalten, das Forel als Parabiose bezeichnet.

3. Die eine Art dient der andern als Schutzwache, was man als Phylakobiose bezeichnet. Ein solches Verhältnis wurde auch zwischen Ameisen und Termiten beobachtet.

4. Die eine Ameisenart lebt als Gastameise bei einer andern Ameisenart, von Wheeler Xenobiose genannt, und zwar entweder, wie z. B. Formicoxenus als indifferent geduldeter, nicht gepflegter Gast, oder, wie beispielsweise Leptothorax Emersoni, als echter, von den Wirtsameisen aus bestimmten Gründen gepflegter Gast.

In allen diesen vier Fällen hat man es stets mit zusammengesetzten Nestern zu tun, in welchen die verschiedenen Ameisenarten bei- oder nebeneinander wohnen, ohne sich zu einer geschlossenen einheitlichen Gesellschaft zu verbinden.

5. Herrenameisen gelangen durch Raub fremder Puppen, die sie dann bei sich zu Hause aufziehn, in den Besitz von Gesindeameisen oder Sklaven. Es ist dies Wheelers Dulosis, ein Verhältnis, das man auch einfach als Raubkolonien bezeichnen kann. Hier können wir etwa folgende geschichtliche Entwicklung feststellen:

Bei den Ameisenvergesellschaftungen ist das Sklavenhalten zunächst nur eine fakultative Einrichtung, die gelegentlich, aber nicht immer bei allen Völkern der gleichen Art vorkommt. Und selbst dann, wenn manche Arten das Gesindehalten sich angewöhnt haben, sind nicht alle Kolonien der betreffenden Art so glücklich, in den Besitz von Sklaven oder Hilfsameisen zu gelangen. In allen diesen Fällen sind die

Digitized by Google

Herrenameisen, die sich ihr Gesinde in unentwickelten Jugendstadien rauben, um es dann selbst aufzuziehen, stets neben ihren Sklavinnen tätig, wie z. B. bei unserer Formica sanguinea.

Erst auf einer späteren Stufe wurde von manchen Ameisenstaaten das Sklavenhalten dazu benützt, daß die Herrenameisen die geraubten Sklaven für sich arbeiten ließen und so nach und nach in völlige Abhängigkeit von ihnen gerieten. So ist die Amazonenameise, Polyergus rufescens, welche die Larven der Formica fusca und cunicularia raubt und bei sich aufziehen läßt, trotz ihrer ungemeinen Kühnheit im Rauben und ihrer gefürchteten Bissigkeit andern Tieren gegenüber in eine solch fatale Abhängigkeit von ihren Sklaven geraten, daß sie buchstäblich verhungern müßte, wenn diese nicht für sie arbeiteten und sie sogar füttern würden.

In solchen Raubkolonien hat der übermächtig zur Entfaltung gelangte Instinkt des Sklavenraubes seinen Höhepunkt erreicht, aber die einseitige Ausbildung der Kiefer der Herrenameisen zu säbelartigen Waffen, die sie nicht mehr zu gewöhnlicher Arbeit geeignet machen, zeigt schon bedenkliche Zeichen von durch eigene Bequemlichkeit hervorgerufener und dann durch die Arbeitsscheu begünstigter körperlicher und geistiger Degeneration. Aus solchen Verhältnissen haben sich dann, um die betreffenden Völker vor dem unausbleiblichen Untergang zu bewahren, in der Folge

6. Allianzkolonien ausgebildet, in welchen, im Gegensatz zu den soeben besprochenen Raubkolonien, die Erwerbung der Sklaven — oder in diesem Falle vielleicht besser gesagt der Hilfsarbeiter — nicht mehr durch Raub, sondern auf friedlichem Wege durch gegenseitige Übereinkunft erfogt. In diesen Gesellschaftsverbänden leben bei den Herrenameisen außer den Hilfsameisen mit verkümmerten Geschlechtsorganen, wie sie alle Arbeiterinnen in den Ameisenstaaten aufweisen, auch solche Hilfsameisen, die geschlechtstüchtige Weibchen sind. Hier werden also außer den sterilen Arbeiterinnen auch die fruchtbaren Weibchen oder Königinnen von den Herrenameisen in ihre Dienste genommen.

Solche entweder durch Allianz oder Adoption gebildete zusammengesetzte Ameisenkolonien, ein Verhältnis, das Wheeler als Kolakobiose bezeichnet, führen dann schließlich zu völligem sozialen Parasitismus. Dies ist beispielsweise bei der nordamerikanischen Ameise Epoecus Pergandei der Fall, welche die Arbeiter von Monomorium minutum als für sie arbeitende Gesinde-

Digitized by Google

ameisen hält, und dabei soweit gekommen ist, daß sie überhaupt gar keine Arbeiter des eigenen Stammes mehr besitzt. Sie begnügt sich damit, nur noch Geschlechtsindividuen zu erzeugen, welche die Art fortzupflanzen haben und neue Herrengeschlechter erzeugen.

Die tiefste Form solcher parasitischer Degeneration, welche begreiflicherweise schließlich zum gänzlichen Erlöschen und Aussterben der ihr anheimfallenden Art führen muß, stellen dann die arbeiterlosen Ameisen der Gattung Anergates atratulus dar, welche ganz von den Arbeitern der mit ihnen zusammenlebenden Rasenameise abhängen und bei welchen besonders die Männchen morphologisch hochgradig degeneriert sind.

Sind schon die Verhältnisse der sozialen Symbiose bei den Ameisen so überaus komplizierte, so treffen wir noch viel merkwürdigere Zustände bei der individuellen Symbiose an, die bei den Ameisen zu einer ganz unerhörten Mannigfaltigkeit von Erscheinungen geführt hat. Und doch sind wir auch darin erst ganz am Anfange des Erkennens, das mit der Zeit ein ganzes großes Wissensgebiet für sich werden wird. Es handelt sich hier im speziellen um die mancherlei Formen der bereits erwähnten Myrmekophilie oder Ameisenfreundschaft, die gerade bei den Ameisen in extremer Weise ausgebildet ist, wie sie uns sonst nirgends unter allen Geschöpfen entgegentritt.

So kennen wir heute schon, trotzdem wir erst am Anfange der diesbezüglichen Untersuchungen stehen, weit über 1000 Insektenarten aller Ordnungen, hauptsächlich die verschiedensten Käfer, welche als Myrmekophile oder Ameisenfreunde Gastrecht bei den Ameisen genießen und oft sehr zahlreich in deren Nestern angetroffen werden. Die größte Zahl solcher Gäste beherbergt, so viel uns bekannt ist, unter unseren einheimischen Ameisen die große glänzendschwarze Holzameise, Lasius fuliginosus, bei welcher man nicht weniger als 150 verschiedene Arten von Ameisenfreunden antraf. Bekanntlich baut diese mit Ausnahme der Pyrenäischen und Balkan-Halbinsel ganz Europa bewohnende größte der einheimischen Arten ihre oft sehr ausgedehnten Nester in alte Baumstämme hinein, deren Mull sie mit ihrem klebrigen Speichel zu schön gewölbten Gängen zusammenleimt. Die in ganz Europa, in Asien bis Ostindien und in Nordamerika vorkommende rote Waldameise, Formica rufa, dagegen, die unter unseren einheimischen Arten die größten Nester baut, indem sie in den Nadelholzwaldungen die bekannten bis 125 cm hohen Hügel aus Nadeln, Blatteilchen aller Art, Holzstückchen, Harzbröckchen und Erdklümpchen mit bewunderungs-

Digitized by Google

würdiger Ausdauer und in Anbetracht der Kleinheit der Arbeiter mit gewaltiger Kraftentfaltung in angestrengter Arbeit zusammenschleppt und auftürmt, beherbergt kaum über 100 verschiedene Arten von Ameisengästen. Und das ist unserer Ansicht nach gewiß noch mehr als genug.

Nun kann das Zusammenleben von Wirt und Gast sehr verschiedene Ursachen haben. Wenn auch fast immer der Gast aus egoistischen Gründen sich dem Wirte aufdrängte, so hat doch letzterer dieses Gastverhältnis vielfach in ein eigentliches Freundschaftsverhältnis umgewandelt, bei welchem beide Parteien sich einigermaßen gut stellen. Die solchermaßen in individueller Symbiose mit den Ameisen im gleichen Neste lebenden fremden Gäste können sein:

1. Nutztiere, deren Ausscheidungen den sie bei sich duldenden oder sie geradezu als „Milchkühe" haltenden und pflegenden Ameisen zu einem angenehmen Genußmittel, wenn nicht gar zur willkommenen oder gar nötigen Nahrung wurde. In einer solchen, den betreffenden Ameisenwirten eine oft wichtige Nährquelle erschließenden Symbiose, die man als Trophobiose bezeichnet, leben mit den Ameisen verschiedene Blattläuse, Schildläuse, Stirnzirpen, Buckelzirpen und Honigraupen. Alle diese Nutztiere beköstigen sich übrigens selbst.

2. Echte Gäste, welche von den Ameisen nicht nur geduldet, sondern vielmehr gastlich gehegt und gepflegt, auch liebevoll gefüttert werden, weil sie sich ihren Gastgebern zwar nicht durch Nahrungssäfte, wie die vorigen, wohl aber durch Ausscheidung gewisser angenehmer Düfte, die als willkommene narkotische Reizmittel wirken, also unter die Rubrik der Genußmittel fallen, beliebt, ja oft geradezu unentbehrlich machen. Die von ihnen gespendeten, den Ameisen, wie es scheint, höchst zusagenden Ausschwitzungen sind teils flüchtige Fettprodukte, teils Drüsensekrete, teils auch Elemente der Blutflüssigkeit.

Diese echten Ameisengäste sind schon in ihrem Aussehen als solche gekennzeichnet, indem sie gelbe Haarbüschel, ganz bestimmte Exsudatgruben und eine der Fütterung durch ihre Gastgeber angepaßte Umbildung der Mundwerkzeuge besitzen. Auch ist für sie die lebhaft rotgelbe oder rote, wie von Fett glänzende Färbung charakteristisch, welche eine Folge des Reichtums an Exsudatgeweben ist, den sie besitzen und der sie ihren Wirten lieb und wert macht. Mit den Ameisen, deren Gastfreundschaft sie genießen, eine spezielle „Fühlersprache" sprechend, haben sie ganz typische, kräftige, oft geradezu keulenartige Fühler ausgebildet, welche an sich schon ihre Stellung im Ameisenstaate als Gäste

anzeigen. In einem solchen Freundschaftsverhältnis, Symphilie genannt, stehen zu den Ameisen die mannigfaltigen Keulen- und Fühlerkäfer, zahreiche Kurzflügelkäfer sowie Stutzkäfer, und zwar hat meist jede Ameisenart ihre besonderen, nur in ihren Bauen lebenden Symphilen.

So lebt, um nur ein hierher gehörendes Beispiel zu nennen, der vollkommen hilflos gewordene gelbe Keulenkäfer, Claviger foveolatus, aus der Familie der Staphylinen oder Kurzflügler, als regelmäßiger Gast der gelben Ameise in deren unter Steinen angelegten Nestern. Sobald man ein solches Nest durch Wegwälzen des deckenden Steines öffnet und das grelle Tageslicht in die vorher stets dunkel gehaltenen Kammern und Gänge des Baues fällt, so erfassen die betreffenden Ameisen nicht nur ihre Puppen, sondern gleicherweise auch ihre bedenklich hilflosen Gäste, um sie in tiefere Teile des Nestes in Sicherheit zu tragen. Dieser Zug von fürsorglichem Bedachtsein, der diesen Gästen gleicherweise wie der eigenen Nachkommenschaft zu teil wird, deutet auf ein schon seit sehr langer Zeit bestehendes inniges Verhältnis zwischen beiden Symbionten. Der durch das lange Zusammenleben mit seinen ihn verhätschelnden Gastgebern vollkommen degenerierte und unselbständig gewordene gelbe Keulenkäfer besitzt demnach auch nicht nur blinde Augen, sondern ist bereits augenlos angelegt. Zudem sind seine Flügeldecken, die seine entfernteren Vettern noch alle in gutem Gebrauche haben, vollkommen verwachsen. Auf ihnen steht ein Haarbesatz, der zu einer tiefen Grube auf dem Rücken der Hinterleibswurzel führt, in welcher die Duftstoffe ausgeschieden werden, die den Ameisen so unentbehrlich sind, daß sie die sie erzeugenden Wesen so unablöslich fest an sich gekettet haben, daß sie nur noch in ihrer sorgfältigen Pflege sich überhaupt am Leben zu erhalten vermögen. Denn auf sich selbst angewiesen wären die so hochgradig degenerierten Symbionten des Ameisenstaates schon längst völlig ausgestorben.



Fig. 349. Keulenkäfer Paussus spiniceps als Ameisengast von Sierra Leone. (Nach Wasmann.)

Bei dieser Symphilie der Ameisen beobachten wir nun verschiedene Abstufungen. So besteht beispielsweise bei den Histeriden die ganze Freundschaft der Ameisen darin, daß sie ihre Gäste nur ganz gelegentlich und flüchtig belecken; bei den Paussiden dagegen ist die Beleckung eine regelmäßige und intensive und werden die Gäste außerdem von den Ameisen herumgetragen oder, wo dies ihrer Größe wegen nicht

Digitized by Google

möglich ist, an ihren keulenförmig umgebildeten Fühlern, die dazu noch mächtig verbreitert und mit Zacken versehen sind, die den Ameisenkiefern gute Angriffspunkte zum Anfassen beim Zerren darbieten, bei Störungen des Nestes usw. mit sich geschleppt. Auf der nächsthöheren Stufe der Symphilie werden die Gäste auch noch aus dem Munde der Ameisen gefüttert. Auf der höchsten Stufe endlich, wie bei Lomechusa, werden überdies auch noch die Larven der Gäste gefüttert und aufgezogen. In dieser Reihenfolge von Beziehungen erinnert also die Anfangsstufe der Symphilie noch sehr an die Synökie und die Endstufe derselben kommt den Beziehungen der Ameisen zu ihrer eigenen Brut oder zu ihren eigenen Königinnen beinahe gleich.

Es sind also ausschließlich die von den Symphilen ausgeschwitzten Exsudate, welche auf die Ameisen einen angenehmen Reiz ausüben und dadurch ihre freundschaftlichen Gefühle wachrufen. Die betreffenden **Exsudatorgane** sind an besonders auffallenden Poren oder Porengruben zu erkennen und besonders an den vorhin erwähnten gelben Haarbüscheln, mit welchen in weitaus den meisten Fällen die Austrittsstellen der Exsudatdrüsen besetzt sind. Sie dienen zweifellos als **Reizborsten**, indem sie bei der Beleckung durch die Ameisen gezerrt werden und dadurch einen sekretionsvermehrenden Reiz auf die als adipoide Drüsen bezeichneten Exsudatorgane ausüben. Diese Trichome stehen meist zu Büscheln vereinigt an den verschiedensten Stellen des Körpers wie an den Seiten der ersten Abdominalsegmente bei Lomechusa, an den Hinterecken der Flügelrudimente bei Claviger, oder an den Fühlern bei Paussus. Je zahlreicher sie ausgebildet sind, desto größere Mengen des Reizstoffes vermögen sie auszuschwitzen und um so intimer ist das Freundschaftsverhältnis mit den Ameisen. Da bei allen denjenigen Gästen, die von den Wirten vollständig unterhalten und gepflegt werden, die Fühler als Geruchsorgane vollkommen überflüssig geworden sind, werden sie bei den Symphilen durch Verbreiterung zu Verständigungs- und Transportorganen. Außerdem werden, wie bereits erwähnt, die Mundteile reduziert, die Zunge verkürzt und verbreitert, um als Löffel zur Aufsaugung des von der Ameise dargereichten Futtersafttropfens dienen zu können. Auch die Mimikry ist bei ihnen sehr verbreitet. Dient aber bei den Synechthren die Übereinstimmung von Gast und Wirt bezüglich der Färbung und Größe dazu, die Erregung der feindlichen Aufmerksamkeit der Ameisen möglichst zu verhindern, so hat sie hier, wo letztere infolge des angenehmen Exsudats der Gäste ohnehin freundschaftliche Gesinnungen hegen, den besondern Zweck sich gleichsam

Digitized by Google

als Familienmitglieder einzuführen. So hat beispielsweise ein Ecitongast, ein Käfer aus der Gattung der Staphylinen oder Kurzflügler, Mimeciton pulex, es fertig gebracht, genau die schlanke Ameisentaille zu kopieren, so daß er von den Wirten kaum unterschieden werden kann.

Was das Benehmen der Symphilen gegen die Ameisen betrifft, so ist dieses ein höchst ungeniertes und furchtloses. Sie meiden nicht nur nicht ein Zusammentreffen mit ihnen, wie die Synechthren und Synöken, sondern suchen sie sogar mit Vorliebe auf und mischen sich mitten unter den dicksten Ameisenknäuel. Man sieht sie nur selten allein, meist sind sie von Ameisen umgeben, mit denen sie einen regen Fühlerverkehr unterhalten und ihnen schmeicheln, um gefüttert zu werden. Manche Symphilen wie die nebenbei abgebildete Atemeles äffen sogar den geselligen Verkehr der Ameisen untereinander in so erstaunlich hohem Grade nach, daß sie, wenn sie eine Ameise zur Fütterung auffordern wollen, hiezu nicht nur ihre Fühler nach Ameisenart verwenden, sondern überdies sogar die Vorderfüße erheben und die Kopfseite der fütternden Ameise streicheln. Andere klettern auf ihren Wirten herum, um sie abzulecken, oder klammern sich an ihren Fühlern oder sonstwo oder auch auf der Ameisenbrut fest, um sich so direkt oder indirekt transportieren zu lassen. Unter den mehreren Hundert Symphilen, die wir heute schon kennen, sind die meisten weniger international als die Synöken, so daß sie auf ganz bestimmte Ameisenarten angewiesen sind. Einige davon, wie die erwähnten Atemelesarten, sind doppelwirtig, d. h. sie haben zwei normale Wirtsameisen, Myrmica und Formica, bei denen sie sich abwechselnd aufhalten, und zwar bringen sie die Wintersaison in dem ihnen behaglicheren Myrmicaneste, die Sommersaison dagegen im Formicaneste zu, wo auch ihre Larven aufgezogen werden.

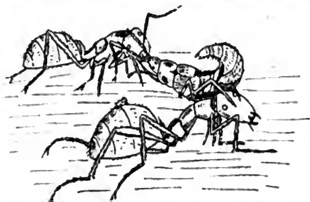


Fig. 350. Der Ameisengast Atemeles pratensoides, auf den Schultern einer Wiesenameise getragen, wird von einer andern Wiesenameise gefüttert (nach Wasmann).

Da nun die Symphilen in allen Fällen Schmarotzer sind, die vielfach die Ameisen, bei denen sie Gastfreundschaft genießen, samt deren Brut zugrunderichten, indem sie letztere verzehren oder deren Larven mit Eier belegen, und auch da, wo sie harmlos sind, als Gegenleistung

Digitized by Google

nur ihre Exsudate, also ein berauschendes Genußmittel ihren Wirten darbieten, so bedeutet die Symphilie eine soziale Krankheit der überkultivierten Ameisengesellschaft, die etwa dem Alkoholismus der Menschen völlig gleichzustellen ist.

Ferner haben wir 3. indifferent geduldete Einmieter, die aus sehr verschiedenen Gründen im Ameisenstaate Wohnung genommen haben und weiter keine Beziehungen zu den Hausherren unterhalten. In einem solchen Verhältnisse des Zusammenwohnens, ohne gastliche Pflege zu erhalten, wobei nur der Schutz von seiten der wehrhaften Ameisen der Hauptnutzen ist, den diese Tiere genießen, was man eben als Synökie bezeichnet, leben wohl die meisten Ameisengäste. Ein solcher schutzbedürftiger Einmieter ist, um nur ein Beispiel zu nennen, die einem winzigen Engerlinge ähnliche Larve des gemeinen Rosen- oder Goldkäfers, Cetonia aurata, dessen goldgrünes, mit weißlichen Querstrichen geschmücktes Kleid in der Sonne so herrlich schimmert, wenn sein Träger an heißen Sommertagen mit Gebrumm die blühenden Sträucher besucht. Ergreift man den Prachtkäfer, so besudelt er einem die Finger mit einem schmutzigweißen schmierigen Safte, den der erschreckte Gefangene zu seiner Verteidigung von sich gibt. In besonders gedrängten Scharen finden wir ihn an alten Bäumen, besonders Eichen, die infolge Verwundung sich durch Saftfluß gegen das Eindringen von schmarotzenden krankmachenden Pilzen wehren, um sich an der süßen Absonderung gütlich zu tun. Seine Eier weiß er dann klug in Ameisennester unterzubringen, wo die Larven auskriechen und unter dem mächtigen Schutze der vielköpfigen Ameisenkolonie, ohne ihren Logisgebern irgendwie zu schaden oder ihnen auch nur lästig zu fallen, von faulendem Holze leben. So findet man die kleinen Larven des Rosen- oder Goldkäfers häufig am Grunde der Haufen der roten Waldameise, Formica rufa, wo sie sich von den allmählich verwesenden Holzstückchen ernähren, die ihre Gastgeber einst beim ersten Aufbau des Staatsgebäudes zusammentrugen.

Oft beruht die Duldung solcher Synöken nur darauf, daß die Ameisen die Gäste wegen deren Kleinheit oder langsamen Bewegungen oder weil sie leblosen Gegenständen wie Erdklümpchen, Holzstückchen oder Samenkörnern gleichen, nicht erkennen, öfter aber darin, daß sie die Gäste als durch stachelige Panzerung unangreifbar oder durch ihre Schnelligkeit unerreichbar kennen gelernt haben und deshalb von deren Verfolgung als aussichtlos von vornherein Abstand nehmen. Da ihnen diese Gesellschafter keinen besondern Schaden zufügen, so er-

Digitized by Google

geben sie sich „mit süßsaurer Miene" in ihr Geschick. Außerdem hüten sich diese Art von Synöken auch, mit den Wirtsameisen öfter als für ihre Zwecke nötig ist, zusammenzukommen, indem sie sich vielfach in entlegenen Winkeln, besonders an Abfallplätzen des Nestes aufhalten. Dabei leben sie entweder nur von den Nahrungsabfällen ihrer Wirte oder sie wollen von den eingetragenen Nahrungsvorräten profitieren, oder sie haben es auf die Leichen abgesehen, die sie in Stücke zerreißen und verzehren. Letzteres nützliche Geschäft besorgen besonders die Dinarda-Arten, die dem Mißtrauen ihrer Wirte durch täuschende Nachahmung der Färbung und relativen Körpergröße derselben zu begegnen suchen. Manche derselben nehmen aber auch oft in diebischer Weise an der Fütterung zweier Ameisen teil, indem sie sich zwischen dieselben stellen und an dem austretenden Tropfen Futtersaft mitlecken.

Unter den Synöken, von denen bis jetzt etwa 800 Arten als indifferent geduldete Ameisengäste bekannt sind — da die wenigsten tropischen Ameisennester in Bezug auf sie untersucht wurden, berechnet Wasmann ihre Zahl auf wenigstens 3000 — gibt es auch räuberische, die sich an den kokonlosen Puppen und Eiern ihrer Wirte vergreifen, wie manche Dinarda-Arten, die kleine Ameisengrille Myrmecophila und Clytralarven. Diese letzteren sind mit einem birnförmigen Tönnchen von Erde umgeben, das auf der vorderen Seite geöffnet ist. Beim Gehen kommt die Larve nur so weit aus ihrem Gehäuse hervor, daß die Brustfüße frei werden, während der Hinterleib mit dem Tönnchen senkrecht nach oben gerichtet ist. Sobald nun eine Ameise einer solchen Larve begegnet, so zieht sich letztere momentan zurück, und zwar so weit, daß die vordere Hälfte des Tönnchens leer steht. In dieser Haltung liegen die Larven längere Zeit regungslos da. Die stutzig gewordene Ameise findet aber am Kokon nichts Auffälliges. Es erscheint ihr der vordere leere Abschnitt des Larvengehäuses im Gegenteil als ein besonders passender Platz zur Unterbringung ihrer Eier, die sie denn auch dahinträgt; kaum hat sie aber einige derselben dort deponiert, so kommt die im Hintergrunde lauernde Larve hervor und läßt sich die vorgesetzte Speise wohlschmecken. Diese Art Synökie führt dann zur bereis erwähnten

4. Synechthrie, bei welcher solche heimtückische, räuberische Einmieter, die von den Ameisen oder deren Brut leben, von ihren Wirten nach Möglichkeit verfolgt werden. In einem solchen Feindschaftsverhältnisse mit den Ameisen leben beispielsweise die Myrmedonien und

Digitized by Google

andere relativ große Raubinsekten, die sich durch Mimikry vor ihren Verfolgern zu schützen suchen. Diese führen weiter zu

5. Schmarotzern im eigentlichen Sinne. Und zwar unterscheiden wir dabei Ento- oder Ektoparasiten, d. h. Innen- oder Außenschmarotzer der Ameisen oder ihrer Brut. Im Gegensatz zu den vorhin besprochenen Sozialparasiten oder Schmarotzern der Gesellschaft sind es Individualparasiten, die ihren Wirten sehr gefährlich werden können. So richten Würmer oder die Larven von verschiedenen winzigen Zehrwespen zahlreiche Ameisen zugrunde. Manche dieser letzteren treiben ihr hinterlistiges Handwerk möglichst bequem unter dem Deckmantel eines echten Symphilen oder Ameisengastes. Sie haben sich dadurch soweit in das Vertrauen ihrer Wirte zu stehlen gewußt, daß sie sich ungeniert und ohne Gefahr unter ihnen bewegen können, ja sogar noch von ihnen beleckt und gepflegt werden, während sie die totbringenden Eier in den Körper ihrer Wohltäter oder deren Larven ablegen. Ähnlich machen es flügellose winzige Fliegen, die als symphile Eigenschaften sogar Exsudatdrüschen besitzen und letztere dazu benützen, ungestört ihre Eier an ihre Wirte anheften zu können, damit sich die auskriechenden Larven auf deren Kosten entwickeln. Offener als diese geht die Fliege Apocephalus Pergandei vor, die ihre Eier nicht hinterlistig, wie ihre Vettern, dem erwählten Opfer einzuführen sucht, sondern dies in offenem Kampfe tut, der oft mehrere Stunden dauern kann. Die Entwicklung der Fliege findet dann im Kopfe der überwundenen Ameise statt, der von der Larve allmählich radikal ausgefressen wird, so daß er eines Tages vom Rumpfe fällt. Man hat die Fliege deshalb auch als Ameisenscharfrichter bezeichnet.

Weit größer ist das Heer der Außenparasiten, zu dem die Milben das Hauptkontingent stellen. Manche davon, wie die winzigen Loelaps oophilus sind verhältnismäßig unschuldig, indem sie mit Vorliebe auf den Eiern der Ameisen sitzen, ohne daran zu saugen, sich vielmehr bei der Beleckung derselben durch die Wirte mit ernähren lassen, eine Lebensweise, die Wasmann als Syntrophie bezeichnet. Andere leben als Parasiten auf dem Leibe der Ameisen, indem sie dabei die Nahrung aus den Säften ihrer Wirte beziehen. Ganz eigenartig sind die Beziehungen der verschiedenen Antennophorusarten zu ihren Wirten. Sie sitzen meist auf der Unterseite des Ameisenkopfes, und zwar in der Weise, daß sie sich mit den drei hintern Beinpaaren festhalten, während sie die langen vordern Beine fühlerartig ausstrecken. Mit diesen Pseudofühlern streicheln und kitzeln sie ihren Wirt an der Kehle so lange, bis

Digitized by Google

dieser einen Tropfen Futtersaft herauswürgt, den der Parasit dann aufleckt. Diese Fütterung ist natürlich eine durchaus unfreiwillige, auf einem Reflex beruhende; denn nichts liegt der betreffenden Ameise weniger im Sinn als ihren lebenden Maulkorb zu füttern. Im Gegenteil, sie macht oft verzweifelte Anstrengungen diesen unverschämten Kerl abzustreifen, ohne aber damit Erfolg zu haben, da er sich viel zu fest an sein Opfer anklammert.

Ein anderer Ektoparasit, der Käfer Thorictus Foreli, hat seinen gewöhnlichen Sitz am Fühlerschafte seiner Wirte, Myrmecocystus viaticus. Da er den Ameisen schon wegen seiner Größe ungemein lästig ist, geben sich die von ihm befallenen Individuen alle erdenkliche Mühe, um ihn abzuschütteln. Es ist sehr drollig, schreibt der Ameisenforscher K. Escherich, sie dabei zu beobachten, wie sie mit den Beinen den ungebetenen Gast fortzuschieben, oder wie sie den Fühler durch Spalten zu ziehen suchen, um so die Last abzustreifen, oder wie sie mit dem Gast fest an die Wand oder den Boden trommeln, um ihn abzubekommen. Aber alle Anstrengungen bleiben erfolglos, zumal niemals einer der Kameraden am Befreiungswerke mithilft. Im Gegenteil, die thorictusfreien Arbeiter scheinen sogar noch Gefallen an den Fühlerreitern zu besitzen; denn man sieht sie zuweilen deren Oberfläche nach Art der echten Gäste belecken. Sie müssen also eine den Ameisen angenehme Absonderung ausscheiden.



Fig. 351. Die Milbe Antennophorus an der Unterseite des Kopfes eines Arbeiters von Lasius niger.

Was treiben nun diese Gäste an den Fühlern der Ameisen? Höchstwahrscheinlich stechen sie mit ihren Kiefern die Fühler an, um das aus den so gesetzten Löchern fließende Blut aufzulecken. Erst sekundär ist dann bei ihnen die Symphilie hinzugekommen, um sich bei den übrigen Individuen des Staates beliebt zu machen, damit diese nicht den von ihnen gequälten Wirten helfen. So sehen wir, daß die Großmachtstellung, welche die Ameisen bei der Kleintierwelt einnehmen, nach allen Richtungen von den verschiedensten andern Insekten gründlichst ausgebeutet und ihre Gutmütigkeit vielfach schmählich mißbraucht wird.

Digitized by Google

XIII.

Pflanzengenossenschaften.

Wie Tiere mit andern Tieren oder Pflanzen sich zu gegenseitig nützlicher oder wenigstens nicht schädlicher Lebensgemeinschaft zusammentun, so finden wir vielfach auch Pflanzen mit ihresgleichen in Symbiose lebend. Schon auf der untersten Lebensstufe sind solche Genossenschaften von niedrig organisierten Pflanzen zu gegenseitiger Förderung der Lebensinteressen äußerst verbreitet. So treten uns überall im Erdboden, insofern genügend Feuchtigkeit in ihm enthalten ist, sehr wichtige Pflanzensymbiosen entgegen. Der Humus ist bekanntlich das Ergebnis der Umwandlung der Bodenmineralien durch die in ihm hausenden Milliarden von Lebewesen, eine Ansammlung der organischen Zersetzungsprodukte von Tier und Pflanze. Jedes seiner Teile ist wenigstens einmal, ja meistens sehr viel mal schon Bestandteil eines Lebewesens, sowohl Pflanze als auch Tier gewesen. Sobald sich auf einem mineralischen Substrat Gewächse, seien es auch nur Bakterien, einzellige Algen und langsam wachsende Flechten, angesiedelt haben, so entstehen durch ihr Absterben und ihre Zersetzung feinkörnige organische Stoffe, welche von den darin hausenden Bakterien, Pilzen und niederen Lebewesen durch Vermittlung der Bodenfeuchtigkeit weiter verarbeitet und stets wieder in ihre Elemente aufgelöst werden. Fällt irgendwo eine Pflanzen- oder Tierleiche zu Boden, so wird sie alsbald von den saprophilen, d. h. die Fäulnis erzeugenden Bakterien besiedelt, die durch Ausscheidung von Enzymen die sehr kompliziert zusammengesetzten Eiweißverbindungen zu einfacheren abbauen. Die Verwesung schreitet aber auch bei hinreichendem Luftzutritt nur unter ganz besonders günstigen Umständen bis zu den Endprodukten Wasser, Kohlensäure und Ammoniak fort. Meist wird sie vorher unterbrochen; besonders bleibt der größte Teil des Stickstoffs in schwer zersetzlichen

Digitized by Google

organischen Verbindungen erhalten, die dann von den verschiedenen Saprophyten, den Bakterien und Pilzen, ergriffen und von letzteren den höher organisierten Pflanzen zugeführt werden, indem sie mit ihnen in Symbiose leben.

Alle die verschiedenen Waldschwämme, die Hutpilze, Morcheln, Boviste, Eierlinge, Erdsterne, Ziegenbärte und wie sie sonst heißen mögen, besitzen im von Verwesungsstoffen erfüllten feuchten Boden ein reiches Gewirr von Mycelfäden, das den eigentlichen, dem menschlichen Auge allerdings unsichtbaren Pilzkörper darstellt, während die oberirdisch erscheinenden Teile nur die fruktifizierenden, d. h. Sporen erzeugenden und ausstreuenden Organe darstellen. Diese Mycelfäden umhüllen als Mycorhiza die in solchen Fällen der Wurzelhaare entbehrenden Wurzeln der verschiedensten Bäume und Sträucher und dringen teilweise als Endophyten in das Innere derselben ein.

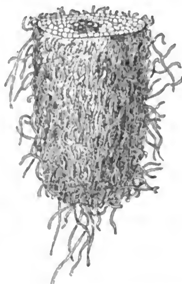


Fig. 352. Beispiel einer epitrophen Mycorhiza. Spitze des Wurzelhaares einer Buche mit einem dicht verfilzten Mantel von Pilzgeflecht umgeben, das die Aufsaugung des Wassers mit den darin aufgelösten Nährsalzen, besonders den schwerlöslichen Stickstoffverbindungen besorgt. (Stark vergrößert.) Nach Frank.

An den Wurzeln des Fichtenspargels und der Buche wurde dieses Symbioseverhältnis zuerst von Kamienski nachgewiesen und dann in der Folge festgestellt, daß die Wurzeln der meisten Pflanzen eine solche von Frank als Mycorhiza bezeichnete Pilzverbindung eingehen. Sie haben sich so sehr an das Zusammenleben mit diesen unterirdischen Gesellschaftern gewöhnt, daß sie deren Mithilfe zu ihrem Gedeihen durchaus bedürfen und ohne sie vielfach nicht mehr existieren können, indem diese ihnen in der Wurzel außer dem Wasser die den Verwesungsstoffen im Boden entrissenen schwerlöslichen stickstoffhaltigen Verbindungen abgeben und dafür von der assimilierenden Pflanze Kohlehydrate, die ja die Pflanze in bedeutendem Überschuß erzeugt, erhalten. So vermögen letztere durch ihre Pilzvasallen die für sie selbst kaum löslichen Stickstoffverbindungen des Humus in sich aufzunehmen. Das ist der eigentliche Sinn der Mycorhizabildung.

So einfach die Beziehungen zwischen Pilz und Wurzel in der gewöhnlichen epitrophen Mycorhiza sind, d. h. bei den Wurzeln, die

Digitized by Google

einfach mit Pilzfäden umsponnen werden, so kompliziert sind sie in der endotrophen, bei welcher die Hyphen in die äußersten Wurzelzellen selbst eindringen, sich da verzweigen und zu Knäueln anschwellen. Als ob sie chemotaktisch angezogen würden, wachsen die Spitzen der Pilzfäden direkt auf die Zellkerne zu, um, sobald sie mit letzteren in Berührung treten, eine birnförmige Auftreibung zu bilden, um welche herum die Stärke vollständig aufgelöst wird. Inzwischen hat der Zellkern seinen Platz in der Zelle gewechselt, die Spitze des Pilzfadens aber folgt ihm jeweilen und bildet in Berührung mit ihm zu wiederholten Malen neue Auftreibungen, die alle nach und nach desorganisiert und in eine gelbe, körnige Masse umgewandelt werden. Diese Anschwellungen sind jedenfalls auf eine besonders kräftige Ernährung des Pilzes zurückzuführen, da eine ähnliche Erscheinung auch bei Pilzkulturen in Nährlösungen eintritt, wenn die Konzentration der letzteren zunimmt. Und zwar hängt die Lösung der Stärke in den Zellen um diese Mycelauftreibungen speziell mit der Bildung der Eiweißstoffe in den letzteren zusammen, an denen diese Pilze besonders reich sind.

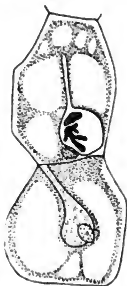


Fig. 353. Zwei Zellen der endotrophen Mycorhiza von Thismia Aseroe (sehr stark vergrößert), nach P. Groom.

Nicht nur der Wald, auch die Heide und der Sandboden, das Geröll und die Steppe beherbergen lauter mykotrophe Pflanzen, d. h. solche, die mit Wurzelpilzen in Symbiose leben. Überall, wo die Transpiration träge oder der Boden arm an mineralischen Stoffen, an Nährsalzen ist, wo Mangel an Niederschlägen besteht, da sind die Pflanzen auf die Mithilfe der im Boden hausenden und sich zur Symbiose mit ihnen herandrängenden Wurzelpilze angewiesen. Ihre feinsten Wurzelverzweigungen sind dicht vom Pilzmantel der Mycorhizen umsponnen, der mit den Wurzelspitzen weiterwächst und erst an den festeren, verholzten und mit Korkgewebe überzogenen Teilen der Wurzel abgeworfen wird, so daß er sich stets nur an den feinsten Verzweigungen der Wurzel vorfindet. Erst auf einem guten, nahrhaften Boden emanzipieren sich die grünen Blütenpflanzen rasch von der Mithilfe der Pilze bei der Ernährung. So leben unsere Kulturpflanzen nicht mehr in mykotropher Symbiose mit alleiniger Ausnahme des Flachses, der als Stiefkind des Landwirtes gewöhnlich auf dem

Digitized by Google

nährstoffärmsten, schlechtesten Boden gepflanzt wird und dabei zu seinem Gedeihen immer noch der Mithilfe dieser Wurzelgenossen bedarf.

Besonders stark in der einseitigen Ausnützung ihrer Lebensgenossen, der Pilze, sind die meisten Humusbewohner, vor allem außer den Waldbäumen die Heidekräuter, Alpenrosen, Heidelbeeren und deren Verwandte, dann verschiedene Orchideen, wie die Korallenwurz, der Fichtenspargel, die Nestwurz und der Widerbart. Diese teilweise chlorophyllfreien und deshalb auf Parasitismus angewiesenen Humuspflanzen, denen von Bäumen sich auch noch die auf feuchtem Grunde, am liebsten an Wasser wachsenden Erlen hinzugesellen, ziehen die harmlosen, mit ihnen vergesellschafteten Wurzelpilze geradezu systematisch in das Rindengewebe ihrer Wurzeln hinein, lassen sie dort heimisch werden und saugen sie dann, wenn sie reichlich Nährstoffe angesammelt haben, aus. Diese gegenseitige Freundschaft artet also hier geradezu in Raub aus, indem der Starke den Schwachen schließlich überwältigt. So hat Werner Magnus neuerdings nachgewiesen, daß die einem Vogelneste gleichenden Wurzeln der Nestwurz, Neottia nidus avis (siehe Tafel IX), zu äußerst und ganz innen die in sie eingedrungenen und zuerst scheinbar gastlich aufgenommenen Wurzelpilze verzehren und verdauen. Nur in der mittleren Wurzelregion geschieht ihnen nichts zu leide. Hier werden sie von der Orchidee beherbergt und dürfen nach Herzenslust an ihr saugen.

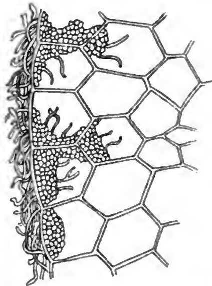


Fig. 354. Durchschnitt durch ein Wurzelstück der Silberpappel bei 600facher Vergrößerung, um das Eindringen der Pilzmycelien in die der Übersichtlichkeit wegen leer gezeichneten Zellen der Rindenschicht darzutun.

Bei allen in Symbiose mit Wurzelpilzen lebenden grünen Pflanzen ist der nicht assimilierende Pilz für die Aufnahme der Kohlehydrate auf seinen mit Blattgrün ausgestatteten Genossen angewiesen. Dafür pumpt er ihm das Wasser mit reichem Inhalte an Nährsalzen aus dem Boden und vermittelt ihm die Aufnahme der im Humus enthaltenen, sonst für die Pflanze unzugänglichen Stickstoffverbindungen. Fast ebenso intensiv wie die Vorgenannten, bei denen geradezu von einem einseitigen Parasitismus der höheren Pflanze an ihrem kleinen Verbündeten, dem Wurzelpilze, gesprochen werden kann, verbinden

Digitized by Google

sich auch die verschiedenen Hahnenfußarten, der Natterkopf, verschiedene Lippenblütler, dann die meisten Wegericharten und viele andere, worunter Schafgarbe, Labkraut, Löwenzahn, von Waldpflanzen der Sauerklee, die Erdbeeren, die mannigfaltigsten Orchis-Arten, worunter auch die Platanthera, der Waldziest, die Schattenblume, die Einbeere, dann Bärlapp, ebenso zahlreiche Gräser mit den mycelbildenden Pilzen des Bodens. Es ist also insgesamt ein erklecklicher Teil der einheimischen Flora, der in Wurzelsymbiose mit Pilzen lebt.

Ob nun irgendwo Wald oder Heide besteht oder sich eine Grassteppe ausdehnt, das hängt ganz vom Grade der Verwesung der organischen Substanzen des Bodens und von der Art der dort unterirdisch hausenden Fäulnisbewohner ab. Wenn der Humus reich an Wurzelpilzen sein soll, muß er ihnen natürlich zusagen, und auch dann siedeln sich nicht alle Arten wahllos auf ihm an, sondern Wald, Moor, Heide und Steppe haben ihre besonderen Pilze, wie sie oberirdisch ihre besondere Pflanzenwelt aufweisen. Gerade die Saprophyten oder Fäulnisbewohner sind sehr wählerisch in Bezug auf das Substrat, auf dem sie sich ansiedeln. So haben beispielsweise faulende Baumstämme ihre bestimmten Moosarten, wie Plagiothecium silesiacum und Buxbaumia indusiata, die niemals auf lebenden Baumstämmen vorkommen. Letztere haben wiederum eine reiche Moosflora, wie z. B. Leucodon sciuroides, viele Orthotrichum-Arten usw., deren Mitglieder sich an andern Standorten nicht zeigen. Wenn auch die meisten epiphytischen Moose nicht wählerisch sind, so erweisen sich doch manche Arten an bestimmte Baumsippen gebunden. So kommt Orthotrichum leucomitrium nur auf Nadelhölzern vor, während die Zygodon-Arten und Barbula latifolia sich nur auf Laubhölzern einfinden. Noch wählerischer sind z. B. Ulota Drummondi, die nur auf dem Vogelbeerbaum, ferner Orthotrichum gymnostomum, das ausschließlich die Zitterpappel bewohnt, ebenso das seltene Anacamptodon splachnoides, das bisher nur in den von abgefallenen Ästen hinterlassenen Höhlungen der Rotbuche aufgefunden wurde. Die Splachnaceen bewohnen beinahe ausschließlich tierischen Humus und sind meist sehr wählerisch. So kommt Tayloria splachnoides auf den verschiedensten modernden

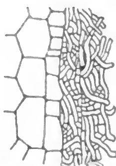


Fig. 355. Durchschnitt durch die Oberhaut der Rinde eines Fichtenspargels mit dem daran haftenden Überzug von in einander verfilzten Mycelfäden des in Symbiose mit ihm lebenden Mycorhizapilzes.

Digitized by Google



Landschaftsbild an der oberen Isar, mit verschiedenen, in Symbiose mit Wurzelpilzen lebenden Baumarten.

Digitized by Google

Tierkörpern vor und Tetraplodon mnioides auf allerlei Exkrementen, dagegen Tayloria serrata nur auf faulendem Menschenkot, Tayloria Rudolphiana nur auf dem Kote von Raubvögeln im Geäste der Bäume, Tetraplodon urceolatus auf Kot von Ziegen, Schafen und Gänsen, Splachnum ampullaceum bloß auf Rinderkot, Splachnum luteum und Splachnum rubrum auf Renntierkot usw.

Die saprophytischen Pilze zeigen ein ähnliches Verhalten wie die Moose. Manche derselben zeigen sich überall, wo Pflanzen- oder Tierreste in Verwesung übergehen, andere wiederum sind an bestimmte Substrate gebunden. So kommen die Marasmius-Arten nur auf abgefallenen Fichtennadeln vor, Antennatula pinophila nur auf abgefallenen Tannennadeln, Hypoderma lauri nur auf abgefallenen Lorbeerblättern, Septoria menyanthis nur auf den unter Wasser faulenden Blättern des Bitterklees, Peronia punctata nur auf Kuhfladen, Gymnoascus uncinatus nur auf faulendem Mäusekot, Chenomyces serratus nur auf verwesenden Gänsefedern, Onygena corvina nur auf Raubvögelgewölle, Onygena equina nur auf faulenden Hufen, usw. Ganz ähnlich ist es mit den unterirdisch im Humus lebenden Pilzen und Bakterien, deren Vorliebe für gewisse Substrate zu ergründen meist recht schwierig ist.

Jede Varietät des Humus hat ihre charakteristischen Pflanzenarten. So wachsen manche Pflanzenarten nur auf dem Humus der Nadelwälder, z. B. Goodyera repens und der nordamerikanische Saprophyt Schweinitzia odorata. Der Fichtenspargel, Monotropa hypopitys, tritt in Laubwäldern nur in ihrer kahlen, in Nadelwäldern dagegen stets in ihrer behaarten Form auf. Wir haben hier also einen Parallelfall zu der kalkholden Gentiana acaulis und ihrer kalkscheuen Verwandten Gentiana excisa. Milder und saurer Humus sind Kollektivbezeichnungen für zahlreiche, namentlich nach der Natur der verwesenden Pflanzen wechselnde Humusarten, deren Unterschiede vom feinen Chemismus der Pflanze leichter empfunden werden als vom groben unserer doch gewiß mit feinen Reagentien arbeitenden Laboratorien.

Jede Bodenart hat auch ihre besonderen Bakterien, die sich aber nie an zu kalten Orten ansiedeln. Nur wenn sie im Laufe des Jahres eine größere Anzahl warmer Tage zur Verfügung haben, vermehren sie sich im Boden so stark, daß ihre Wirkung augenfällig wird. Wo dies nicht der Fall ist und die Ungunst des Klimas oder mangelnde Bodenbearbeitung durch die niedere Tierwelt sie verscheuchen und zurück-

Digitized by Google

drängen, machen sich die ein kühles Klima liebenden Cladosporiumpilze und ihre Verwandten breit. Letztere ernähren sich vorzugsweise von faulenden Blättern, besonders Buchenblättern, um die sie ihre weißen bis braunen Fäden spinnen. Sie machen den Boden „roh“, indem sie eine Menge Humussäuren darin festhalten. Dadurch wird gesunder Wald- und Ackerboden unfruchtbar gemacht, indem die Humussäuren die Absorption des Wassers durch die Wurzeln erschweren, so daß beispielsweise sogar auf dem wasserdurchtränkten, sehr sauren Humus der Hochmoore die Vegetation entschieden einen xerophilen, d. h. an die Trockenheit angepaßten Charakter annimmt. Auf diesem humussäurereichen „rohen“ Boden können sich nur gewisse Pflanzen erhalten und von Waldbäumen bilden auf ihm nur Buche und Fichte noch dichtere Bestände, indem sie mit Hilfe der Mycorhiza den unzugänglich aufgeschlossenen sauren Humus verwerten. Aber trotz der Mithilfe dieser unterirdischen Verbündeten und Nährgenossen haben solche Wälder stets die Neigung je nach der geringeren oder größeren Wasserzufuhr in Heide oder Moor überzugehen.

Überall, wo Cladosporiumpilze sich im Boden breit machen, verdrängen sie die übrigen, so nützlichen und wohltätigen Humusbereiter, und melancholische Moore und Heiden mit einförmigen Fichtenwäldern dazwischen geben davon Kunde. Solcher schlecht durchgearbeiteter Rohhumusboden macht die von ihm bedeckten Länder arm, da sich nur wenig fruchtbare Hafer- oder Kartoffeläcker auf ihm anlegen lassen, die dazu noch recht kärglichen Ertrag liefern. Wo aber das Klima wärmer ist und das Gedeihen der Bodenbakterien begünstigt, indem er durch regelmäßige Niederschläge feucht erhalten und von austrocknenden Winden nicht zu sehr heimgesucht wird, siedeln sich die zahllosen andern Bodenbakterien und Pilze an und gedeihen vortrefflich in dem von reichem niederem Tierleben erfüllten Boden. Wie wir Menschen durch das Umgraben der Erde nichts anderes bezwecken als die Verwesungsreste zu verteilen, damit sie gleichmäßig von den an ihnen zehrenden Bakterien und Pilzen aufgearbeitet werden, außerdem auch die mineralischen Bestandteile desselben durch den erleichterten Luftzutritt rascher verwittern und sich die Feuchtigkeit gleichmäßig im Boden verteilt, so arbeitet die Natur mit Hilfe der zahllosen niederen im und vom Humus lebenden Tiere, wenn auch langsamer, so doch viel gründlicher wie wir. Schon die als Brache bezeichnete Bodenruhe, die unsere noch keine rationelle Bodenwirtschaft und Düngung kennenden Vorfahren bis ans Ende des Mittelalters anwandten, zielt darauf ab, nicht nur die Verwitterung neu heran-

Digitized by Google

gezogener Mineralstoffe abzuwarten, sondern auch den saprophilen Bodenbakterien und Pilzen Zeit zur Arbeit zu lassen. Damit düngt sich der Boden gleichsam von selbst. Diese selbsttätige Bodenbereitung durch Lüftung und Mischung der Krume üben besonders die hilfsbereiten Genossen und Verbündeten der höheren Pflanzen, die Amöben und Wurzelfüßler des Humusbodens, das zahllose Heer der Insekten in der Wald- und Ackererde, wie kleine Springschwänze, Läuse, Milben, Spinnen und Käferchen, Tausende von Rädertierchen, Bärtierchen, Fadenwürmern und als die wichtigsten, weil sie durch ihre Größe und Kraft am energischsten den Boden durchwühlen, die Regenwürmer. Sie alle leben im und vom Boden, indem sie die organischen Bestandteile desselben verzehren und den Verwesungsstoff in ihren Körper wiederum in Lebensstoff umwandeln. Alle noch irgendwie verwertbare, von den Fäulnisbakterien und Pilzen nicht aufgezehrte Lebenssubstanz eignen sie sich an und geben den unverdaulichen Rest an der Bodenoberfläche von sich. So entsteht als wertvolles Produkt der Lebenstätigkeit dieser Milliarden ungekannter und verkannter Lebewesen die als Fruchtland berühmte schwarze Erde, der Mullboden in seinen verschiedenen Abarten, wie er uns beispielsweise im Gartenboden der Lombardei, in den Weizenfeldern Mitteleuropas und im Tschernosem, der „Schwarzerde“ Westrußlands entgegentritt.

Wo heftige Winde unmittelbar zum Boden gelangen und ihn in Verbindung mit mangelhaften Niederschlägen austrocknen, da verschwinden die Regenwürmer und die zahllosen neben ihnen hausenden Kleintiere, indem sie im harten zusammengebackenen Boden nicht mehr zu leben und zu arbeiten vermögen. Die faulenden, von Pilzen und Bakterien durchsetzten Pflanzenreste und andern organischen Massen bilden einen schlecht durchlüfteten Filz von Rohhumus und damit wechselt die Vegetationsdecke des Bodens. Ist es eine trockene Stelle, so siedeln sich mit Vorliebe die verschiedenen Heidekräuter an, und aus Wald oder Steppe wird Heide. Ist aber die Stelle durch reichliche Niederschläge oder Wasserzusammenfluß feucht, so bedeckt sie sich langsam mit den mannigfaltigsten Moosen, über die schließlich das einförmige Torfmoos als am besten diesen Lebensbedingungen angepaßte Form triumphiert; so entsteht ein Hochmoor. Wenn von Orten, an welchen früher bunter Laubwald mit dichtem Unterholz grünte, durch unvorsichtige Kahlschläge oder andere lokale Ursachen die Regenwürmer und das andere Kleingetier vertrieben werden, versauert der Boden und verschlechtert sich bedeutend, so daß nur eine einförmige Vegetation von Fichte oder Kiefer oder bestenfalls Buche hier in vorzugsweiser Verbindung mit den Cladosporiumpilzen, mit denen

Digitized by Google

sie eine innige Verbindung als Mycorhiza eingehen, weiter zu bestehen vermag.

Der saure Humus ist gewöhnlich als Torf ausgebildet, dem die wasserlöslichen Humussäuren eine schwärzliche Färbung verleihen. Im Gegensatz zum milden Humus, dem Mull, der seine vollkommenste Ausbildung in schattigen Wäldern erreicht, wo ihn Regenwürmer und zahlloses Kleingetier fortwährend durch ihren Verdauungskanal spazieren lassen und in Form loser, lockerer Ballen ausscheiden, ist der Torf wenig wasserdurchlässig, so daß das Regenwasser sich in Pfützen auf ihm sammelt. Nur bei anhaltendem Regen saugt es sich voll wie ein Schwamm, ohne jedoch Wasser an den unterliegenden Mineralboden abzugeben. Während in dem aus Wurmexkrementen bestehenden Mullboden der Wälder die reiche Durchlüftung durch die in ihm hausenden zahllosen Tiere, besonders der Regenwürmer, zur Bildung hochoxydierter neutraler Stoffe führt und Säuren nur etwa den sechzehnten Teil seiner organischen Substanz bilden, sind letztere im sauren Humus, dem Torfe, sehr reich vertreten, indem in ihm die Sauerstoffzufuhr nur sehr schwach ist sowohl auf dem Boden stagnierender Gewässer, als auch an trockenen, sandigen Standorten, wo die Regenwürmer und übrigen Kleintiere, welche hauptsächlich das Zusammenbacken des Humus verhindern, selten sind. Nasser Torf, der Torf im gewöhnlichen Sinne, ist charakteristisch für die Moore, trockener Torf für die Heiden, den man deshalb zum Unterschied vom vorigen als Heidetorf bezeichnet. Abgesehen vom Wassergehalt dürfte der Unterschied zwischen beiden gering sein. Erhöhte, weniger nasse Stellen der Moore tragen im wesentlichen dieselbe Vegetation wie echte Heiden auf trockenem Boden. So sieht man trockenen Heidetorf in Wäldern entstehen, sobald der Boden infolge von Ausforstung ausgetrocknet und die feuchtigkeitliebenden Würmer und anderen Tiere ausgestorben sind.

Wie der Mycorhizapilz die für die höheren Pflanzen unlöslichen Humusstoffe des Bodens verarbeitet und dieselben teilweise in assimilierbarer Form deren Wurzeln zuführt, so zersetzen die Bodenbakterien die verschiedenen darin vorkommenden organischen Substanzen, der Harnstoff wie die übrigen Stickstoffverbindungen des Mists wird von ihnen bis zum Endprodukte Ammoniak abgebaut, dieser dann von den Nitrit- und Nitratbakterien in untersalpetrigsaure und salpetersaure Salze oxydiert, die bessere Nährstoffe für die Pflanze als der Ammoniak selbst sind. Was nun die Pilze der verschiedenen Humusböden für die Wald-, Heide- und Moorpflanzen und alle Mycorhizen den betreffenden, mit ihnen im Bunde

Digitized by Google

lebenden Gewächsen bedeuten, das sind die Knöllchenbakterien für alle Leguminosen oder Schmetterlingsblütler, zu denen zahlreiche wichtige Nutzpflanzen, wie Bohnen, Erbsen, Linsen, Lupinen, Puffbohnen, Wicken und alle Kleearten gehören. Alle diese Pflanzen, von denen man schon lange wußte, daß sie noch auf dem magersten, ausgesogensten Boden gut gedeihen und ihn sogar durch ihr darauf Wachsen an Stickstoffverbindungen anreichern, also geradezu düngen, tragen allenthalben an ihren Wurzeln hanfkorn- bis bohnengroße Knöllchen, die im Innern von winzigen, bei sehr starker Vergrößerung betrachtet, etwas unregelmäßig gestalteten Stäbchen von glänzendfettigem Aussehen erfüllt sind. Es sind einer jeden Leguminosenart speziell angepaßte Spaltpilze, die wie die Mycorhizen ebenfalls in Symbiose mit den betreffenden Pflanzen leben. Für diese Rhizobien oder Wurzellebewesen bauen die Schmetterlingsblütler besondere unterirdische Mycodomatien oder Pilzwohnungen und fangen es höchst raffiniert an, um sie zu sich heran in die Wurzeln zu locken. Nach dem bereits erwähnten Berliner Botaniker Frank treffen die Leguminosen ganz besondere Einrichtungen in ihren Wurzeln, um der für ihr Gedeihen unumgänglich nötigen, den Stickstoff der Luft assimilierenden Bakterien habhaft zu werden. Bei der Erbse z. B. soll sich nach ihm folgender Vorgang abspielen: Aus den Wurzelhaaren strecken sich ganz feine Plasmafäden hervor, die gewissermaßen als Leimruten dienen, um durch Chemotaxis, d. h. also durch Ausscheidung gewisser, den im Boden hausenden Stickstoffbakterien angenehmer Stoffe diese zu sich heranzulocken. Dies geschieht auch alsbald. Die zwischen den Erdkrümeln umherschwärmenden

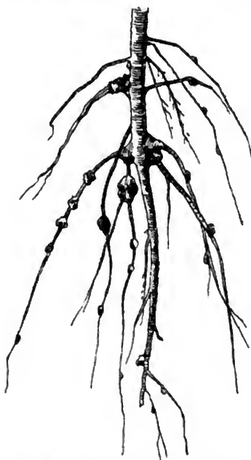


Fig. 356. Wurzeln der gelben Luzerne mit den für die Hülsenfrüchte charakteristischen Wurzelknöllchen, welche Mycodomatien für die in Symbiose mit dieser Pflanze lebenden Stickstoffbakterien bilden.

Digitized by Google

Bakterien sammeln sich daran und werden den feinen Plasmafäden entlang zu den Wurzeln selbst geleitet, wo sie sich ansiedeln und zur Knöllchenbildung Veranlassung geben. Bei der Bohne und Lupine wandern die Bakterien durch die als Lockspeise von den Wurzelhaaren ausgeschiedenen Stoffe angezogen in die obersten Zellschichten der Wurzel ein, wobei Wucherungen zu ihrer Beherbergung stattfinden, also geradezu Behausungen für sie von der Wirtpflanze errichtet werden.

Die sie auf ihren Wurzeln ansiedelnde Pflanze hat auch allen Grund diesen ihren Gästen in jeder Beziehung entgegenzukommen; denn sie bezieht von ihnen die im betreffenden mageren Boden beinahe fehlenden Stickstoffverbindungen, welche die Rhizobien direkt aus dem Stickstoffe der Luft herstellen. Indem sie sich mit den von ihnen gewonnenen Stickstoffverbindungen anfüllen, verlieren die Bakterien ihre ursprüngliche Stäbchenform, schwellen an und verzweigen sich gabelförmig. In diesem Zustande werden sie Bakteroiden genannt. So gemästet sind sie der höheren Pflanze, die ihr Obdach gewährte und als Entgelt für ihre Stickstoffabgabe nur sehr geringe, durch Assimilation gewonnene Kohlehydratmengen an sie abgab, ein willkommener Leckerbissen, den sie zuletzt gänzlich verzehrt.

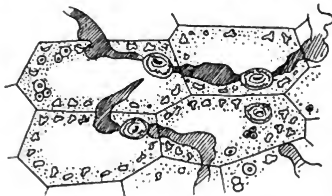


Fig. 357. Entwicklung des Stickstoffbakteriums, Bacillus radicicola, als sog. Infektionsfaden im Wurzelgewebe der Erbse (sehr stark vergrößert). Nach Beijerinck.

Diese eigentümliche Symbiose der Knöllchenbakterien wird wohl ursprünglich phylogenetisch als eine Art Krankheit durch ausgeschiedene reizende Fermente analog den verschiedenen, früher besprochenen Gallenbildungen aufzufassen gewesen sein, aus welcher dann mit der Zeit für die betreffenden, von jenen Pilzen angezapften Pflanzen eine wichtige Quelle der Ernährung wurde. Mit Stickstoff gut genährte Pflanzen sind immun gegen diese Infektion, die überhaupt nur in stickstoffarmem Boden zu stande kommt. Auf gedüngtem Wiesenboden gehen aber alle Hülsenfrüchtler an Arten, wie auch an Individuenzahl zurück; im Wettbewerb um den Bodenstickstoff halten sie nicht mit den Mitbewerbern stand.

Bei der ungemein großen Wichtigkeit, welche dem Pilzleben im Boden für die Landwirtschaft, auf der unsere gesamte Kultur beruht,

zukommt, können wir es uns nicht versagen, eine Autorität auf diesem Gebiete kurz zu Wort kommen zu lassen. Dr. P. Vageler äußert sich in einem im April 1907 in der Umschau veröffentlichten Aufsatze betitelt: Bakterien und moderne Landwirtschaft: „Die Bakteriologie des Ackerbaues, oder, präziser ausgedrückt, die Bakteriologie des Bodens ist eine ganz junge Wissenschaft, die die große Bedeutung, die ihr dermaleinst bei fortgeschrittenem Stande unseres Wissens zukommen wird, ganz zweifellos zukommen muß, bisher mehr ahnen als deutlich erkennen läßt. Denn das muß von vornherein ausdrücklich betont werden: Noch steckt die landwirtschaftliche Bakteriologie in obigem, präzisiertem Sinne in den Kinderschuhen und ihre Erfolge, die ja immerhin vorhanden sind, können sich mit denen der medizinischen Bakteriologie nicht entfernt messen, was nicht wundernehmen kann, wenn man die enormen Schwierigkeiten, die allen diesbezüglichen Forschungen entgegentreten, sich vergegenwärtigt.

Ein landwirtschaftliches Problem ist es, dessen sich die bakteriologische Forschung bisher in erster Linie angenommen hat, und das allmählich mit der Erschöpfung der Salpeterlager zu einer immer brennenderen Tagesfrage wird: das Problem der Stickstoffversorgung unserer Kulturgewächse.

Den praktischen Landwirten war es schon lange bekannt, daß die Leguminosen keine „stickstoffzehrenden" Pflanzen sind, vielmehr nicht nur selbst auf dem stickstoffärmsten Boden gedeihen, wenn sie mit Kali und Phosphorsäure gedüngt sind, sondern diesen sogar durch ihre Rückstände an Stickstoff anreichern, also echte „Stickstoffmehrer" sind.

Lange stand die Wissenschaft dieser Tatsache, an deren Richtigkeit nach tausendfacher Bestätigung nicht zu zweifeln war, ziemlich ratlos gegenüber, um so mehr da der Satz: „Wir haben nicht den leisesten Grund zu der Annahme, daß der Stickstoff der Atmosphäre an den Assimilationsprozessen in der Pflanze teilnimmt" zum Dogma erstarrt war, an dem nach dem Vorgang von Autoritäten wie Saussure, Boussingault und neueren Autoren so leicht niemand zu rütteln wagte.

Dabei war es aber, wie die übliche chemische Analyse der Leguminosenböden, so gering man — und mit vollstem Recht — auch sonst ihren Wert für derartige Schlüsse einschätzen mochte, hier ganz einwandfrei nachwies, schlechterdings ausgeschlossen, daß die Pflanzen den in ihnen aufgespeicherten Stickstoff dem Boden entnommen haben sollten, wozu nicht einmal der ermittelte Gesamtstickstoff der Böden, wenn er selbst voll verwertet werden konnte, ausgereicht hätte. Und zu allem

Digitized by Google

Überfluß erwiesen sich die benutzten Böden nach der Ernte, wie schon oben erwähnt, stickstoffreicher als vorher!

Licht brachten die von Hellriegel im Verein mit Wilfahrth in den Jahren 1884—1886 angestellten Versuche mit Leguminosen, welche nachwiesen, daß diese Pflanzen Organe der Stickstoffassimilation besäßen und zwar in ihren durch Bakterien verursachten Wurzelknöllchen; daß es sich dabei also um eine Lebensgemeinschaft, eine Symbiose, zwischen grüner Pflanze und Spaltpilz handele und nicht um ein parasitisches Verhältnis, wie man bisher angenommen hatte.

Denn bekannt waren diese auffallenden Bildungen der Leguminosenwurzeln natürlich den Naturwissenschaftern schon lange, waren aber allgemein als Folgen von Parasitismus gedeutet worden, welcher Schluß ja auch nahe genug liegt. Schon Malpighi hat 1687 dieser Anschauung Ausdruck gegeben.


Fig. 358. Bacillus radicicola von Erbsen in Reinkultur (sehr stark vergrößert.)

Und ganz falsch ist diese Ansicht in der Tat, um auf den modernen Stand unseres Wissens zu kommen, auch keineswegs. Die Bazillen, als Bacillus radiciola Beijerinck oder auch Rhizobium leguminosarum bezeichnet, sind im Anfange ihrer Einwirkung auf die Pflanze wirklich nichts anderes als Parasiten. In reifem Zustand sind die Mikroorganismen in Luft und Wasser nicht selten, in der Ackererde sogar in der Regel anzutreffen. Keimt ein Leguminosensame, der für die betreffenden Spaltpilze invasierbar ist (über diese Beschränkung s. u.), so dringen diese in die Epidermiszellen der Wurzelhaare ein, wo sie sich schnell zu Kolonien entwickeln. Von den Kolonien aus dringen dann pilzmycelähnliche Bakterienmassen, als „Infektionsfaden" bezeichnet, in die Rindenzellen der Wurzel ein und verzweigen sich darin nach allen Richtungen. Durch das Vorschreiten des Infektionsfadens „werden die Zellen des Wurzelgewebes zu lebhafter Vermehrung angeregt und drängen sich dicht, infolgedessen ihr Umriß vieleckig wird." Gleichzeitig nimmt dabei das Wurzelhaar resp. die Seitenwurzel an Dicke zu und wird zum „Knöllchen" umgestaltet.

Unterdes gehen mit den eingedrungenen Bakterien selbst gewichtige Veränderungen vor. Bis zum oben skizzierten Zeitpunkt und etwas länger noch leben sie als reine Parasiten auf Kosten der Wirts-

Digitized by Google

pflanze. Dann aber „gehen sie unter dem Einfluß des sie umgebenden Protoplasmas in eiweißreiche, der Vermehrung nicht mehr fähige Involutions- d. h. Entartungsformen über, welche man als Bakteroiden bezeichnet" und die das ganze, aus vieleckigen Zellen neugebildete Gewebe des Knöllchens dicht erfüllen, das deswegen auch „Bakteroidengewebe" genannt wird.

Von diesem Zeitpunkt an setzt die Assimilation von freiem Stickstoff ein, die also an die Bildung der Bakteroiden geknüpft ist, die ihrerseits allmählich vom umgebenden Plasma der Pflanzenzelle aufgelöst und damit in ihren Substanzen, spez. den stickstoffhaltigen, von der Wirtspflanze verwertet werden. Schließlich sind die Knöllchen entleert und schrumpfen.

Wie der Vorgang der Bindung des so inaktiven Stickstoffs durch die Mikroorganismen zu denken ist, ist noch keineswegs geklärt und eine Erläuterung würde hier zu weit führen.

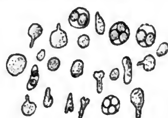


Fig. 359. Bakteroiden aus Bacillus radicicola, birn- und kugelförmiger Typus vom Klee. (Nach Beijerinck).

Die Bakteroiden sind durch seltsame Formen ausgezeichnet; meist sind sie gabelig verzweigt, rund wieder bei Klee usw.: Ihre Gestalt ist für jede Pflanzenart, der sie entstammen, konstant, damit dokumentierend, daß es sich bei den Knöllchenbakterien mindestens um Varietäten einer Art handelt, die sich im Laufe der Zeit an die verschiedenen Leguminosenarten angepaßt haben, wenn nicht gar um neue — allerdings nur wenig — differente Arten. Denn es ist keineswegs möglich, mit derselben Kultur von Knöllchenbakterien alle Leguminosen zur Knöllchenbildung und damit zur Stickstoffsammlung anzuregen, sondern stets nur die gleiche Pflanzenart oder ihre nächsten Verwandten. Erst durch mehrere Generationen lange Züchtung lassen sich einzelne Bakterienarten an fremde Wirtspflanzen gewöhnen, keineswegs alle.

Damit haben wir aber eigentlich schon die praktische Anwendung dieser theoretischen Ermittelungen in der modernen Landwirtschaft gestreift. Längst ausgenutzt, da empirisch als höchst wirksam erprobt, wurde ja auch schon vor Hellriegel die Fähigkeit der Leguminosen, den Luftstickstoff zu verwerten, in Form der Gründüngung, die in ihrer rationellsten Ausführung bekanntlich darin besteht, daß sofort

Digitized by Google

nach der Ernte das Feld mit einer Leguminose, meistens Lupinen, bestellt und im Spätherbst die grüne Masse untergepflügt wird. Die so erhältlichen Stickstoffgewinne beziffern sich unter günstigen Umständen auf viele Kilogramm pro Hektar, so daß der Stickstoffbedarf der folgenden Frucht gänzlich gedeckt ist, vorausgesetzt, daß rationelle Bodenpflege den Stickstoff verwertbar macht.

Dieser alten Erfahrung ist durch die skizzierten Forschungen einmal die sichere wissenschaftliche Grundlage verliehen, dann aber auch eine wichtige Erweiterung zuteil geworden, die nur bei genauer Kenntnis des Sachverhaltes möglich war: das jetzt schon mit vielfach großem Erfolge angewandte Verfahren der Boden- und Saatimpfung der Leguminosen.

Ohne Knöllchen ist das Wachstum dieser Pflanzen ein sehr schlechtes; Knöllchen entwickeln sich nur, wenn die den Pflanzen angepaßten Bakterien vorhanden sind. Und diese sind wieder mit Sicherheit nur dann im Boden anzunehmen, wenn die betreffenden Leguminosen schon erfolgreich darauf angebaut wurden, während im andern Falle die Wahrscheinlichkeit des Nichtvorhandenseins der spezifischen Bakterien bedeutend größer ist und für Neuland, und zwar speziell für in Kultur genommene Moorländereien zur vollen Sicherheit wird.

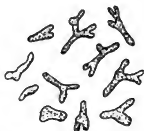


Fig. 360. Bakteroiden aus Bacillus radicicola, mehrarmig verzweigter Typus von Erbsen. (Nach Beijerinck.)

Was lag nach der Erkenntnis des ursächlichen Zusammenhangs zwischen Knöllchen und spezifischen Mikroorganismen näher, als der Gedanke, diese ja leicht erhältlichen Spaltpilze dem Boden zuzuführen und dadurch das Gedeihen der anzubauenden Leguminose zu sichern?

Das konnte leicht dadurch geschehen, daß man das betreffende Feld mit der Erde eines Ackers, der die zum Anbau bestimmte Leguminose eben getragen hatte, überfuhr, den Boden also mit den Bakterien „impfte“. Dieses wegen der Größe der erforderlichen Mengen von Impferde und auch den gegenseitigen Entfernungen der Äcker oft nicht billige Verfahren ist in vielen Fällen mit bestem Erfolge zur Anwendung gebracht, und zwar ist der Erfolg als relativ sicher zu bezeichnen.

Dieses gilt leider noch nicht von der weit bequemeren und billigeren Methode der Samenimpfung, die darin besteht, daß man die Knöllchenbakterien in Form von Reinkulturen, die auf entsprechend zusammengesetzten Nährböden leicht zu erhalten sind, den Samen selbst

Digitized by Google

zumischt. Hiltner gebührt in erster Linie das Verdienst, die zu erfolgreicher Samenimpfung einzuhaltenden Bedingungen aufgedeckt und virulente, d. h. durch Infektionskraft und erhöhte Fähigkeit Stickstoff zu assimilieren ausgezeichnete Bakterien gezüchtet zu haben, wobei sich noch das seltsame Verhalten zeigte, daß die Virulenz der Mikroorganismen von der Lokalisierung des Mutterknöllchens, aus dem sie stammen, an der Pflanzenwurzel abhängig ist, d. h. daß nur bestimmte Regionen der Wurzel an ihren Knöllchen hochvirulente Bakterien enthalten."

„Die Frage, ob außer den Leguminosen auch andere höhere Pflanzen vielleicht durch Hilfe von Mikroorganismen Stickstoff aus der Luft zu assimilieren imstande sind, wird von der Wissenschaft bedingt bejaht, die oftmals gestellte andere Frage, ob die Pflanzen ohne diese Hilfe dazu fähig sind, wurde bis vor kurzem einstimmig verneint. Jetzt scheint die Angelegenheit durch die in allerneuester Zeit veröffentlichten Untersuchungen von Jamieson ein wesentlich anderes Aussehen zu erhalten. Dieser Forscher spricht das Vermögen, den Stickstoff der Luft verwerten zu können, allen grünen Pflanzen ohne Ausnahme zu, hauptsächlich denen mit großen, saftigen Blattorganen und dünner Epidermis. Als spezifische Organe der Stickstoffassimilation bezeichnet er besonders differenzierte Haare.

Sollten sich durch die zu erwartenden Nachprüfungen Jamiesons Ergebnisse bestätigen, so würde diese Entdeckung natürlich nicht nur für die Praxis der Landwirtschaft, sondern auch die theoretische Pflanzenphysiologie von einschneidendster Bedeutung sein, und deshalb, obwohl streng genommen gar nicht zum Thema gehörig, ist diese erst in allerjüngster Zeit veröffentlichte Untersuchung hier berührt worden.

Aber kehren wir zu den Bakterien zurück. Nicht nur die Knöllchenbakterien der Leguminosen spielen eine das Stickstoffkonto eines landwirtschaftlichen Betriebes beeinflussende Rolle, sondern mit ihnen zahllose andere Mikroorganismen, von welchen auch eine beträchtliche Menge in ihren Wirkungen genau bekannt und beschrieben sind.

Da sind zuerst zu nennen die Spaltpilze, welche den Harnstoff des Harns der Nutztiere im Dünger in kohlensaures Ammoniak umsetzen, der Micrococcus ureae und Verwandte. Weil kohlensaures Ammoniak sich schon bei gewöhnlicher Temperatur stark verflüchtigt und damit Stickstoffverluste im Dünger eintreten, sucht man dem durch Anwendung von sauren Konservierungs-

Digitized by Google

mitteln, am praktischsten Torfstreu, entgegenzuwirken, die das kohlensaure Ammoniak binden.

Eine Abtötung der Bakterienflora des Stalldüngers ist keineswegs der Zweck solcher Maßregeln, wie das Wort „Konservierungsmittel" vielleicht vermuten lassen könnte. Vielmehr ist eine richtige Zersetzung des Düngers, eine Aufschließung und Nutzbarmachung seiner strohigen und sonst schwer löslichen Bestandteile für die Wurzeln der grünen Gewächse durch die Einwirkung der nach Billionen zählenden Bakterien aller Arten das durch rationelle Düngerpflege vom modernen Landwirt erstrebte Ziel.

Kommt dann der Stalldünger auf den Acker, so spielen auch hier wieder die Bakterien eine überaus wichtige Rolle in der weiteren Umsetzung der Stickstoffverbindungen. Die erst seit nicht langer Zeit durch den verdienstvollen russischen Forscher Winogradsky bekannt gewordenen nitrifizierenden Bakterien verarbeiten die gebotenen Ammoniakverbindungen zuerst zu Nitriten, dem Endprodukt der Tätigkeit der Nitrosobakterien. Die Nitrite werden dann durch Nitrobakterien weiter in Nitrate, die eigentlichen Pflanzennährstoffe, umgewandelt.

Diese nitrifizierenden Organismen geben noch manches Rätsel zu lösen. So wachsen sie auf künstlichem Nährboden nur bei völliger Abwesenheit organischer Verbindungen unter Verhältnissen, wie sie in der Ackererde jedenfalls niemals herrschen, da sie allein von allen bis jetzt bekannten Lebewesen die Fähigkeit haben, ohne Chlorophyll Kohlensäure zu assimilieren und zu ihrer Leibessubstanz zu verarbeiten.

Aber auch gegenteilige Prozesse finden im Ackerboden statt. Die sogenannten „denitrifizierenden" Bakterien begrüßen das im Boden entstandene oder im Dünger zugeführte Nitrat als willkommene Nahrung, indem sie dem Salpetersäuremolekül den Sauerstoff zu ihrer Atmung entziehen und es dadurch zerstören. Die Reduktion der Salpetersäureverbindungen geht durch verschiedene denitrifizierende Arten, zu denen sehr viele der weitest verbreiteten Organismen gehören, verschieden weit. Einzelne vermögen Nitrat nur zu Nitrit abzubauen, andere bis zu Ammoniakverbindungen und sogar bis zur Abspaltung gasförmigen Stickstoffs. Daß Nitrite demselben Schicksale unterliegen, ist selbstverständlich.

Die auf diese Weise entstandenen Verluste an Stickstoff erwiesen sich in künstlichen Nährlösungen, namentlich wenn reichliche Kohlenstoffnahrung für die Bakterien vorhanden war, als sehr beträchtlich,

Digitized by Google

so daß nach Entdeckung dieser Mikroorganismen oder richtiger dieser Eigenschaft vieler Bodenbakterien eine förmliche, ich möchte sagen „Denitrifikationspanik“ unter Theoretikern und mit der Theorie in Fühlung stehenden Praktikern ausbrach, von der die Literatur beredtes Zeugnis ablegt. Jetzt dürfte das Schreckgespenst „Denitrifikation“ viel von seiner Furchtbarkeit verloren haben, nachdem man den im Boden herrschenden Verhältnissen mehr auf den Grund zu gehen gelernt hat.

Wie schon bemerkt, brauchen die denitrifizierenden Bakterien reiche Kohlenstoffernährung, um ihre volle Wirksamkeit an den Nitraten zu entfalten. Sind diese Verhältnisse im Boden durch unvernünftige Düngungsmaßregeln wirklich einmal gegeben, z. B. wenn man gleichzeitig strohigen Stalldünger und Chilisalpeter ausstreuen wollte, dann können die Stickstoffverluste ein bedenkliches Maß erreichen. Gewöhnlich aber liegen die Verhältnisse im Boden ganz anders: Solange noch viel kohlenstoffhaltige Verbindungen da sind, ist die Nitrifikation und dementsprechend die Salpetermenge gering; setzt die Nitratbildung stark ein, dann sind keine Kohlenstoffquellen für die Salpeterzerstörer mehr vorhanden und ihre Wirksamkeit ist, wenn überhaupt vorhanden, gering. Die auf diese Weise entstehenden Stickstoffverluste sind jedenfalls relativ völlig unwesentlich und werden zudem paralysiert durch B i n d u n g v o n e l e m e n t a r e m S t i c k s t o f f d u r c h M i k r o o r g a n i s m e n d e s B o d e n s o h n e M i t w i r k u n g c h l o r o p h y l l f ü h r e n d e r G e w ä c h s e.

In neuester Zeit sind auf verwesenden Blättern Mikroorganismen gefunden worden, welchen diese Fähigkeit in gewissem Grade zukommen soll, doch bedürfen diese Funde noch der bestätigenden Nachprüfung. Mit Sicherheit bekannt sind zur Zeit drei Bakterien dieser Art. Das eine Bakterium, Clostridium Pasteurianum, ist eine merkwürdigerweise streng anaërobe, d. h. nur bei Ausschluß von Sauerstoff gedeihende Art der weit verbreiteten Buttersäurebakterien und schon längere Zeit bekannt. Erst aus den letzten Jahren datiert die Entdeckung des Azotobacter Chroococcus und Azotobacillus agilis durch Beijerinck, nahe verwandte Formen, die sich nur wenig unterscheiden. In künstlichen Nährlösungen hat man namentlich mit Azotobacter Chroococcus sehr nennenswerte Stickstoffgewinne erzielt. Wie sich der Organismus im Boden verhält, ist noch nicht zu sagen, da die einem solchen Versuche entgegenstehenden technischen Schwierigkeiten, speziell im analytischen Verfahren, noch unüberwindlich sind.

Die Azotobacterarten gedeihen bei ungehemmtem Luftzutritt, am besten also im gutbearbeiteten Acker, und werden durch Kalkung des

Digitized by Google

Bodens begünstigt. Ihre und verwandter Organismen Rolle im Boden, besonders bei dem Streitobjekt der modernen Ackerbaulehre, der Brache, ist jedenfalls noch keineswegs geklärt, um so weniger, als ein großer Zweig der Bodenbakteriologie, die Einwirkung der Bodenbakterien, genauer ausgedrückt der von ihnen aus den organischen Stoffen des Bodens produzierten Säuren und Alkalien auf die Mineralbestandteile des Bodens gegenüber der bisher alles Interesse absorbierenden Stickstofffrage geradezu gröblich vernachlässigt ist. Ganz neuerliche Versuche von Koch und Kröber, über die erst ein vorläufiger Bericht gegeben ist — ältere Arbeiten sind sehr wenige und noch dazu meist lückenhafte vorhanden — lassen die große Wichtigkeit des Gegenstandes erkennen, berechtigen aber noch zu keiner Schlußfolgerung. Damit währen die bis jetzt bekannten Tatsachen über diesen Gegenstand erschöpft."

Bevor man diese Eigenschaft der Rhizobien entdeckte, für die mit ihnen in Symbiose lebenden Schmetterlingsblütler den Stickstoff der Luft einzufangen und, in leicht lösliche salpetersaure Verbindungen übergeführt, zugänglich zu machen, und zwar in solcher Menge, daß beispielsweise Lupinen auf 100 qm nicht weniger als 2 kg d. h. über 1500 Liter Stickstoff aus der Luft entnehmen, kannte man nur zwei Vorgänge in der Natur, welche dieses schwierige Kunststück zustande brachten: die elektrischen Entladungen in feuchter Luft beim Gewitter und, wie der Chemiker Prof. Schönbein in Basel einst nachwies, auch die Wasserverdunstung. Beides sind aber Prozesse, deren stickstoffbindende Kraft keine sehr große ist. Diese allein vermöchten nicht den zahllosen, den elementaren Stickstoff in der Natur aus seinen Verbindungen abspaltenden Prozessen das Gleichgewicht zu halten; denn, soviel wir heute wissen, wird die atmosphärische Luft nicht etwa stickstoffreicher, sondern ihre Zusammensetzung bleibt vielmehr konstant. Es muß daher noch einen andern, uns bis dahin unbekannten Weg zum Ausgleiche des Verhältnisses zwischen freiem und gebundenem Stickstoffe geben, und diesen vermutet man in der Fähigkeit von auch nicht mit Rhizobien in Symbiose lebenden Pflanzen anderweitig den Stickstoff der Luft binden zu können.

Nach vieljährigen, mühsamen Untersuchungen glaubt also der gewissenhafte englische Forscher Jamieson gefunden zu haben, daß alle Pflanzen freien Stickstoff direkt aus der Luft entnehmen und in Eiweißstoffe umwandeln, daß die Größe der Absorption und Fixation desselben schwankt mit der Zahl und Art der diesem Zwecke dienenden

Digitized by Google

spezifischen „Organe“ und mit den Bedingungen freudigen Wachstums, das zur Entwicklung dieser Organe nötig ist. Diese Organe der grünen Pflanze sind nach ihm Haare, deren chlorophyllhaltige Endzelle als „Albumingenerator“ fungiert. Diese, „einer Algenzelle aufs Haar gleichende Endzelle“ bildet, wie sich mit den üblichen Reagentien leicht nachweisen läßt, bei voller Ausbildung des Haares reichliche Mengen von Albumin, das von hier aus nach der Basis des Haares sich verbreitet und von da dem Pflanzenkörper zu gute kommt. Beistehende, der Arbeit Jamiesons entnommene Abbildung zeigt ein gewöhnliches Pflanzenhaar und im Vergleich dazu einen Albumingenerator von Spergula arvensis, dem Ackerspörgel, dem nach den Untersuchungen des Verfassers in ganz besonders hohem Grade die Fähigkeit der Stickstoffbindung zukommen soll.

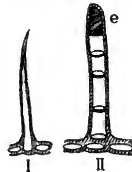


Fig. 361. I Gewöhnliches Pflanzenhaar, II Albumingenerator des Ackerspörgel, Spergula arvensis, mit chlorophyllhaltiger Endzelle e.

Jamieson hat zahlreiche Pflanzenfamilien auf das Vorhandensein solcher spezifisch differenzierter Haare untersucht, und der Erfolg war durchweg ein positiver. Dabei zeigte es sich, daß die Gewächse, die an den Boden geringe Ansprüche hinsichtlich des Stickstoffgehaltes stellen, dabei aber gleichzeitig in ihrer Trockensubstanz eine große Stickstoffmenge aufweisen, besonders gut mit Albumingeneratoren ausgestattet sind. Hierher gehören die meisten auf wenig nahrhaftem Schuttboden wachsenden Unkräuter, außer dem Ackerspörgel besonders auch die Brennesseln und andere, die alle stark ausgebildete Blattorgane besitzen, auf denen die Albumingeneratoren stehen. Am entgegengesetzten Ende der Reihe stehen die Gräser und Getreidearten mit geringem Stickstoffgehalt der Trockensubstanz bei hohen Ansprüchen an den Boden, schwach entwickelten Blattorganen und entsprechend minimaler Fähigkeit, den Stickstoff der Atmosphäre auszunützen. Mit diesen Entdeckungen, die allerdings noch sehr der Nachprüfung bedürfen, hat Jamieson der Forschung neue Wege gewiesen, die für die Erkenntnis des Stoffwechsels der Pflanze von weitgehendster Bedeutung sind.

Gleich wie alle Pflanzen nicht nur mit den Bodenbakterien im allgemeinen, sondern daneben noch mit speziellen Wurzelpilzen in Symbiose leben, so daß sie in einem sterilen Milieu nicht zu gedeihen vermögen, wie zahlreiche Versuche besonders des Franzosen Duclaux

Digitized by Google

gelehrt haben, so können auch alle Tiere mit Einschluß des Menschen nicht in bakterienfreien Verhältnissen existieren. Sie vermöchten es schon nicht, da die Bakterien nicht nur überall an ihrer Körperoberfläche, sondern im ganzen Bereiche des Darmkanals in ungezählter Menge hausen. Obschon die Magensäure deren viele abtötet, gelangen doch die zäheren derselben ungefährdet in den Darm, wo sie außerordentlich günstige Lebensbedingungen vorfinden und in solcher Zahl wuchern, daß, wie der Botaniker Prof. Julius Straßburger in Bonn nachwies, etwa ein Drittel des Trockengewichtes*) des Kotes — beim Menschen sind es genau 32,4 Prozent — aus abgestoßenen Bakterien besteht. Neben allerlei harmlosen, von der verspeisten Nahrung mitzehrenden Bakterien sind auch zahlreiche Gärungserreger dabei neben solchen, die die genossene, beispielsweise für die Verdauungsfermente unseres Darmes vollkommen unlösliche Cellulose teilweise lösen und so deren wichtigen Zellinhalt freigeben. Für den Tag beberechnet ergibt es sich, daß ein gesunder erwachsener Mensch etwa 8 g nach dem Trockengewicht berechnete Bakterien als überschüssigen Nachwuchs täglich abstößt, das sind, wenn wir als mittlere Größe den Umfang des Bacterium coli commune, des wichtigsten Dickdarmbewohners annehmen, 128 Billionen Bakterien — beiläufig gesagt fünfmal soviel als unsere gesamte Blutmenge rote Blutkörperchen enthält — als die täglich von uns entleerte Menge dieser in unseren Körper nach Quadrillionen hausenden Commensalen oder Tischgenossen.

Höchst gewissenhaft durchgeführte Versuche von Schottelius an steril aufgezogenen Hühnchen ergab, daß, obschon diese Tiere beständig an Hunger litten, eine hervorragende Eßlust entwickelten und sich durch reichliche Defäkation auszeichneten, sie höchstens eine Lebensdauer von

*) Nach neueren, durch noch sorgfältigere, einwandfreie Methodik vorgenommenen Untersuchungen von M. Lissauer — publiziert im 58. Bande 1907 Heft 2 des Archivs für Hygiene — besteht der trockene Kot gesunder Erwachsener bei gemischter Kost aus etwa 90 Prozent trockener Bakterien. Eine wesentliche Änderung dieser Zahl war weder bei rein vegetabilischer, noch bei rein animalischer Kost zu konstatieren. Ebensowenig zeigte sich eine Änderung in der Anzahl der Kotbakterien bei Hunden, welche einerseits mit Fleisch, andrerseits mit Kartoffeln und Brot gefüttert wurden. Von Herbivoren hat die Kuh einen mittleren Bakteriengehalt des Kotes, Kaninchen dagegen sehr wenig. Jedenfalls ist dies die Folge der außerordentlichen Trockenheit des Kaninchenkotes, wie auch beim Menschen habituell Verstopfte durchschnittlich einen geringeren Bakteriengehalt als solche mit flüssigen Dejektionen haben. Bei Diarrhoe dagegen ist der Bakteriengehalt aus leicht begreiflichen Gründen kolossal gesteigert.

Digitized by Google



Ostafrikanische Parklandschaft mit Giraffen, die in einem Gehölz mit Giraffenakazien und Mimosen äsen. Hier in ihrem natürlichen Wohngebiete sind die Tiere durch ihre Fleckenzeichnung, welche die von den durchfallenden Sonnenstrahlen unter dem Gewirr des Blätterdaches hervorgerufenen Schattenbilder nachahmt, aufs Beste geschützt, so daß man sie eher für dürre, flechtenbewachsene Stämme als für lebende Wesen ansieht. Nach unretouchierter Naturaufnahme von Karl G. Schillings.

Digitized by Google

11 bis 29 Tagen erreichten, zu welcher Zeit bei ihnen der Tod spontan eintrat. Dabei hatten sie etwa 36 Prozent ihres Gewichtes verloren. Ähnliche Versuche unternahm an Kaltblütlern Frau O. Metschnikoff, die Gattin des bekannten Leiters des Institut Pasteur in Paris, Elias M. In sterilem Wasser mit sterilem Brot aufgezogene Froschlarven waren nach 63 Tagen, als der Versuch abgebrochen wurde, in ihrer Entwicklung ganz beträchtlich hinter den nicht sterilen Kontrolllarven zurückgeblieben. Noch viel sorgfältiger wiederholte den Versuch, gegen den allerlei Einwände erhoben werden könnten, in neuester Zeit Dr. Ernst Moro, indem er die viel widerstandskräftigeren Eier und Larven der Knoblauchkröte, Pelobates fuscus, zu seinen Untersuchungen benützte. Um zu zeigen, wie sorgfältig von ihm vorgegangen wurde, sei angeführt, daß der Laich zuerst in sterilen Gefäßen, die mit einprozentiger Borsäurelösung gefüllt waren, eingesammelt und sofort einer gründlichen mechanischen Reinigung unterworfen wurden, indem die Algen und zahlreiche Pilze, besonders Bakterien, enthaltende äußere Gallertschicht losgetrennt und der Rest unter dem Wasserleitungsstrahl abgewaschen wurde. Hierauf wurden die Eier einzeln aus der durchsichtigen Gallertschicht mit ausgeglühten Zupfnadeln herauspräpariert und auf der Platinschaufel in eine 0,3 prozentige Borsäurelösung hineingebracht. Erst als wiederholte Kontrolluntersuchungen vollständige Keimfreiheit der so präparierten Eier festgestellt hatten, wurden sie in die sterilen Versuchsgefäße übergossen und entwickelten sich nach 4 bis 6 Tagen zu Larven. Im sorgfältig mit filtriertem Sauerstoff durchlüfteten Wasser, das ebenfalls stets wieder auf seine Keimfreiheit untersucht wurde, zeigte sich schon am Ende des im ganzen 35 Tage umfassenden Versuches, daß die reichlich mit sterilisiertem Oblatenpulver und keimfrei gemachtem fein zerteiltem Hühnereiweiß gefütterten Larven um mehr als die Hälfte kleiner blieben als die nicht sterilisierten Kontrolltiere, sich sehr viel langsamer entwickelten, statt wie die andern lebhaft herumzuschwimmen träge am Boden liegen blieben und eine auffallende Lebensschwäche im allgemeinen zeigten, so daß eine Kleinigkeit, wie ein leichter Wasserwirbel, der den nicht steril aufwachsenden Larven ganz gleichgültig war, sie sofort tötete. Auch die grünliche Pigmentation der Schwanzflosse, die bei den Kontrolltieren schon nach Ablauf der zweiten Woche eintrat, blieb bei diesen sterilen Kümmerformen ganz aus.

Dr. E. Moro schließt aus seinen Versuchen mit Recht, daß die Darmbakterien wie bei den Warmblütern, so auch bei den Kaltblütern

Digitized by Google

für ein normales Gedeihen absolut nötig sind. Und in der Tat, vom Anbeginn der Schöpfung bis auf den heutigen Tag sind alle Lebewesen dermaßen außen und innen von den zahllosen Scharen der allgegenwärtigen winzigen Bakterien und anderer Keime umgeben, daß sie sich vollkommen an ihre Gesellschaft gewöhnt haben. Wie sie sich einerseits der bösartigen Schmarotzer zu erwehren wissen, sind sie andrerseits mit den harmlosen Kommensalen oder Tischgenossen in gewisse Beziehungen getreten, wie sie eben eine Nährgemeinschaft mit sich bringt. Dabei helfen sie dem Organismus gewisse für ihn unverdauliche Stoffe, wie die Cellulose, durch Gärung in leichter assimilierbare zu verwandeln, die dann verwertet werden können und so dem Wirte zugute kommen.

Bei der Allgegenwart der Pilze in der Natur kann es uns nicht verwundern, daß auch ein Teil derselben mit niedrigen einzelligen Algen eine sehr enge mutualistische, d. h. auf gegenseitigen Nutzen begründete Symbiose eingegangen sind. Seit den grundlegenden Untersuchungen des heute noch in Berlin wirkenden Schweizer Botanikers Simon Schwendener aus der Mitte der sechziger Jahre des vorigen Jahrhunderts wissen wir des bestimmtesten, daß die als Flechten bezeichneten bescheidenen Pflänzchen, die sich überall auf der Erde nicht nur in den Niederungen an allen für sie Platz bietenden Gegenden, sondern auch im Gebirge, wo keine andere Pflanze mehr auszudauern vermag, als Pioniere des Lebens auf jedem Steinblock ansiedeln, keine einfachen Pflanzen sind, sondern aus der innigsten Verbindung zweier verschiedenartiger Pflänzchen bestehen. Eine jede Flechte, sei es eine bescheidene Krustenflechte oder eine schon anspruchsvollere Laubflechte, ist aus zwei völlig verschiedenen Elementen, nämlich Alge und Pilz, zusammengesetzt, die eine Gemeinschaft auf Lebenszeit, gleichsam eine Ehe eingegangen sind und auch gemeinsame Kinder erzeugen, und zwar bezeichnet man in dieser Genossenschaft das Algenelement als Gonidie und das Pilzelement als Hyphe.

In Bezug auf den Aufbau und die Bildung des Thallus unterscheidet man zwei ganz verschiedene Gruppen, welche man als homöomere, d. h. gleichteilige und als heteromere, d. h. ungleichteilige Flechten bezeichnet. Bei den ersteren, welche weitaus die Minderzahl bilden, hat der Algenteil ein entschiedenes Übergewicht über den Pilzteil. Zwischen den zahlreichen Algenzellen treffen wir nur verhältnismäßig wenige Pilzfäden, die auch niemals in der Flechte eine bestimmte Lagerung einnehmen, sondern die in gemeinsamem Haus-

Digitized by Google

halte mit ihnen lebenden Algen regellos umgeben. Es sind dies die Faden- und Gallertflechten. Bei den heteromeren Flechten dagegen, zu denen alle übrigen, und gerade die höchst organisierten und ansehnlichsten Arten gehören, finden wir gerade das umgekehrte Verhalten. Bei ihnen bildet der Pilz den Hauptbestandteil der Flechte und die Alge tritt ihm gegenüber bedeutend zurück. Infolgedessen ist es hier auch der Pilz, der vorzugsweise die Gestalt der Flechte bedingt.

Es ist nun durchaus nicht zu verwundern, daß bei der weitaus größten Mehrzahl der Flechten gerade der Pilz ein starkes Übergewicht über die Algen erlangt hat. Er ist nämlich der aktive, für das Wohl des Ganzen sorgende Teil, der weit mehr Initiative besitzt als die indolente, passiv alles mit sich geschehen lassende Alge, die sich ohne Widerstand zu leisten von ihm umwachsen läßt und auch in dieser neuen, mit dem Pilze eingegangenen Lebensgemeinschaft ruhig fortfährt zu assimilieren. Auf diese Assimilationsprodukte hat es nun der durch den Mangel eines Chlorophyllapparates auf die grünen Pflanzen angewiesene Pilz abgesehen. Er lebt nun vom Überschuß der von der assimilierenden Alge gewonnenen Nährstoffe und bietet dafür seiner Genossin Schutz vor Vertrocknung, indem seine Gewebe nicht nur sehr wasserreich sind und einen Teil davon an diese abgeben können, sondern auch seine feinen Fäden, wie alle haarförmigen Gebilde, die Luftfeuchtigkeit verdichten und so der Alge ein feuchtes Milieu, wie sie es gewohnt ist und zu ihrem Gedeihen braucht, auch an sonst trockenen Standorten zu bieten vermag.

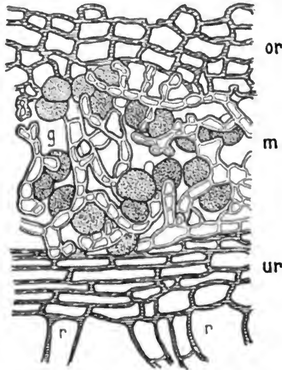


Fig. 362. Querschnitt durch den Thallus der heteromeren Flechte Coccocarpia molybdea (sehr stark vergrößert). In or und ur, der oberen und unteren Rindenschicht sind die Pilzfäden zu einem sogen. pseudoparenchymatischen Gewebe dicht durcheinander geschlungen. Von der Unterseite entspringen Haftfasern oder Rhizinen r, die die Flechte an ihrer Unterlage befestigen. Zwischen den beiden dichten Thallusschichten, die ausschließlich von verfilzten Pilzfäden gebildet werden, findet sich eine mittlere Markschicht m als ein meist sehr lockeres, viel Luft führendes Hyphengeflecht, dem die Algen a eingelagert sind.

Digitized by Google

Die Symbiose dieser zwei niedrigen Pflanzenarten ist eigentlich so selbstverständlich, daß wir eher erstaunt sein dürften, wenn sich die beiden nicht zu gemeinsamem Leben gefunden hätten. Tagtäglich bietet sich ja in der Natur Gelegenheit genug, daß oberflächlich am Boden dahinkriechende Pilzfäden eine kleine Kolonie von einzelligen Algen treffen und dieselben in schmarotzerischer Absicht umspinnen und einschließen. Wurden nun diese auch von jenen gebrandschatzt, so kamen sie doch nicht dabei um. Vielmehr hatten die Algen doch noch genug zum Leben, da sie nur den Überschuß ihrer Assimilationsprodukte an jene abgaben. Und indem sie ungestört weiter lebten und vom Pilze als Lohn für ihre Speisung Feuchtigkeit zugeführt und Schutz gegen Austrocknung gespendet bekamen, wurde die Lebensgemeinschaft durch gegenseitige Anpassung auf eine solide Grundlage gestellt und für alle Zukunft befestigt.

Das hier geschilderte zufällige Zusammentreffen von Pilzen und Algen kann, wie Stahl zuerst nachwies, experimentell herbeigeführt werden. So gelang es, wenn man künstlich im Laboratorium gewisse Schimmelpilze mit Feuchtigkeit liebenden einzelligen Algen zusammenbrachte, sie wirklich eine innige Verbindung zur Flechte eingehen zu sehen. Auf solche Weise schafft der blinde Zufall heute noch, wie vor hunderten von Millionen Jahren, immer wieder neue symbiotische Konsortien zwischen Pilzen und Algen; damit entstehen immer wieder neue Flechtenarten. Bei ihnen ist aber diese Lebensgemeinschaft zunächst noch eine so wenig fest gegründete, daß sie nicht für die Zukunft der gemeinsamen Kinder sorgen. Ein jeder Teil bildet die Keime für sich und läßt sie vom Winde allüberallhin verweht werden, es dem Zufall überlassend Pilz und Alge abermals zu gemeinsamem Leben zu vereinigen. Wer kennt nicht die als Apothecien bezeichneten flachen Schüsselchen der Krustenflechten und die roten oder braunen Köpfchen der Laubflechten? In diesen ausschließlich vom Pilz gebildeten ungeschlechtlichen Fortpflanzungsorganen werden nur Pilzkeime erzeugt und bei deren Austrocknung vom Winde überallhin zerstreut in der Hoffnung, daß ihnen das Glück hold sei und der Zufall ihnen eine assimilierende grüne Genossin zu neuem Ehebunde zuführe.

Um nun den hier stets im Spiele befindlichen mißlichen Zufall ganz auszuschalten und den Keimen das Risiko, immer wieder einen neuen passenden Teilhaber zu finden, ganz abzunehmen, haben dann die in innigere Lebensgemeinschaft getretenen Doppelwesen die höchst zweckmäßige Neuerung eingeführt, gleich solche Doppelwesen als Flechten-

Digitized by Google

kinder in die Welt zu setzen, damit nicht erst Pilz und Alge eine passende neue Vereinigung suchen müssen. Das erreichen sie durch eine rein vegetative Vermehrung, die man als Soredienbildung bezeichnet. Und dieser Art von Brutknöllchenbildung, die der Flechtenthallus von sich stößt, um sie dem Weitertransport durch den Wind zu übergeben, verdanken die Flechten hauptsächlich ihre ungeheure Verbreitung über die ganze Erde. Es lösen sich nämlich zu bestimmten Zeiten und an bestimmten Orten von den Flechten einzelne Algenzellen oder Gruppen solcher, die von lebenden Bruchstücken von Pilzfäden umsponnen sind, vom elterlichen Thallus los. Diese winzigen Gebilde besitzen nur ein minimales Gewicht und bieten doch der Luft infolge der abstehenden Pilzumspinnung so viel Angriffspunkte, daß sie auf ungeheure Strecken hin verweht werden können. Kommen sie dann an irgend einem Orte zur Ruhe, wo ihnen nur einigemaßen genügend Feuchtigkeit geboten wird, so beginnt sich die Alge zu teilen und die Pilzbruchstücke beginnen sich zu Fäden zu strecken und jene allseitig zu umspinnen, so daß in kurzer Zeit eine Flechte von der ursprünglichen Form daraus entstanden ist.

Dasselbe Prinzip, welches wir bei der Soredienbildung antreffen, nämlich den zusammengehörenden Pilz und die Alge zugleich zu verbreiten, finden wir aber auch noch in einer andern Weise durchgeführt. Auf eine hier nicht näher zu erörternde Weise gelangen bei manchen Flechtenarten Algen aus dem Thallus zum Sporenlager und bleiben an den Pilzsporen hängen, wenn letztere aus dem Ascus oder Schlauch hinausgeschleudert werden. Sobald dann die Sporen keimen und der Mycelschlauch austreibt, legt sich derselbe sofort an die Alge an, und so ist ebenfalls der Anfang zur Flechtenbildung gegeben. Hier findet der Pilz gerade wie bei der Soredienbildung stets die ihm zusagende Alge; denn es ist zweifellos erwiesen, daß ein Flechtenpilz nicht mit jeder beliebigen Alge zusammenzuleben vermag, sondern meist nur auf eine ganz bestimmte oder seltener auf wenige Arten angewiesen ist.

Daß nun die Fruchtformen der Flechten so ganz außerordentlich wechselnd sind, kann uns nicht wundern, wenn wir bedenken, daß die mit den Algen zusammentretenden Pilze den verschiedensten Gruppen angehören können und daß es ausschließlich die Pilze sind, welche die Fruchtanlagen der Pilze bilden. Die Flechten können somit in einem wissenschaftlichen Werke nicht mehr zusammenhängend dargestellt werden, sondern sie müssen denjenigen Pilzgruppen angeschlossen werden, zu welchen der betreffende symbiotische Pilz gehört. Weitaus der größte

Digitized by Google

Teil der Flechtenpilze gehört zu den Ascomyceten oder Pilzen mit Sporen in Schläuchen, und nur wenige Arten haben sich als Basidiomyceten, d. h. Pilze mit gestielten Sporen auf besondern Sporenträgern herausgestellt. Für einige Flechtengruppen wurde jedoch ein Anschluß an das Pilzreich noch nicht festgestellt, und es ist nicht unmöglich, ja sogar wahrscheinlich, daß die Pilze dieser Flechten überhaupt nicht mehr ohne Algensymbiose vorkommen, daß sie also heute nur noch flechtenbildend auftreten.

So ausgezeichnet sich gegenseitig aushelfend und so ingeniös für die möglichst allseitige Ausbreitung ihrer gemeinsamen Brut besorgt, ist es begreiflich, daß die Flechten wie die Pilze allgegenwärtig auf der Erde sind. Die Algen selbst sind ja an Feuchtigkeit gebunden und kommen mit sehr wenigen Ausnahmen niemals an ständig trockenen Orten vor. In der Flechtengenossenschaft vermögen sie sich jedoch unter dem Schutze der dicht verflochtenen Hyphenhülle ungestört zu entwickeln und der größten Trockenheit energischen Widerstand zu bieten. Wenn sie auch bei anhaltender Trockenheit noch so lange in Anabiose versinken, stets wieder erwachsen sie nach der Benetzung zu neuem Leben. Bei solcher Anspruchslosigkeit an die Lebensbedingungen und Zähigkeit im Ertragen von Wassermangel ist es nicht zu verwundern, daß die Flechten, deren Keime überall hingeweht werden, durchweg die verdienstvollen ersten Besiedler neuen Bodens sind, daß sie sich in Menge in den verschiedensten Arten selbst an solchen Stellen auf den höchsten Gipfeln der unwirtlichen Gebirgsregion und an den steilsten, völlig humuslosen Felsen ansiedeln, wo keine andere Pflanze mehr fortzukommen vermag. Erst wenn diese Pioniere des Lebens humusschaffend tätig waren, lassen sich genügsame Moose nieder, ihnen folgen anspruchslose Farne und auf deren organischen Resten erst lassen sich höhere Blütenpflanzen nieder.

Wie die allgegenwärtigen Pilze sich schmarotzend an niedere Pflanzen heranmachen, nicht nur an Algen, wie bei den Flechten, sondern auch, wie früher erwähnt wurde, an die Vorkeime von Lycopodien, mit ihnen in Symbiose lebend und die sogenannten Mycoprothallien erzeugend, so schleichen sie sich auch heimtückisch in viele höhere Pflanzen, in welchen aber die Symbiose ganz auf Kosten des Wirtes geschieht. Dies leitet uns hinüber zu den Schmarotzern, von denen im nächsten Abschnitte noch eingehender die Rede sein wird. Die Symbiose dieser Schmarotzerpilze mit den höheren Blütenpflanzen ist aber eine viel innigere und weitergehende als diejenige der ge-

Digitized by Google

wöhnlichen Schmarotzer, die eine bis dahin gesunde Pflanze nachträglich befallen und sie ausplündern oder gar zugrunde richten. Diese treiben das Räuberhandwerk feiner, aber desto raffinierter. Sie richten die Pflanze nie ganz zugrunde, setzen sich nur an gewisse Teile derselben, wie Blätter oder Fruktifikationsorgane, aber an letzteren so intim an, daß sie sich schon in den werdenden Keim der neuen Pflanze einschleichen.

Dank den jahrzehntelangen mühsamen Forschungen des schwedischen Botanikers Jakob Eriksson in Stockholm wissen wir heute, daß es eine neue Art symbiotischer Pflanzengenossenschaft gibt, wie sie Pilze mit gewissen Blütenpflanzen, an die sie völlig gebunden sind, eingehen. Diese Art einseitig schmarotzender Symbiose hat er bei den verschiedenen Rostpilzen nachgewiesen, bei welchen der bei niederen Lebewesen so häufige Generationswechsel in Verbindung mit Wirtswechsel und regelmäßiger Fruchtfolge auftritt. Dabei tritt der betreffende Pilz auf der einen Nährpflanze mit leicht verwehbaren und rasch aufkeimenden sogenannten Aecidiosporen und Pycnosporen, d. h. in Becherchen und sich öffnenden Krügen entstehenden Sporen, und auf einer andern mit dickwandigen, höchst zählebigen Dauersporen auf, die, wenn sie im Sommer gebildet werden, als Uredosporen, wenn jedoch im Herbste gebildet als Teleutosporen oder Wintersporen bezeichnet werden.

Betrachten wir in Kürze die Entwicklungsgeschichte eines der bekanntesten und gefürchtetsten Rostpilze, nämlich des Getreiderostes. Schon den Bauern des Mittelalters war es aufgefallen, daß sich die Rostkrankheit des Getreides immer nur da zeigte, wo in der Nähe der Felder Berberitzensträucher standen. Obgleich nicht der geringste Beweis für den Zusammenhang beider erbracht werden konnte, war der Glaube an denselben schon so gefestigt, daß häufig die Gerichte die Entfernung von Berberitzensträuchern von Getreidefeldern beantragten. Erst vor verhältnismäßig kurzer Zeit wurde der Beweis erbracht, daß die Praktiker mit Scharfblick das Richtige erkannt hatten. Die Aecidiosporen des Getreiderostpilzes, Puccinia graminis, entstehen im zeitigen Frühjahr in hellgelben pustelartigen Becherchen auf der Unterseite von Berberitzenblättern und müssen, wenn sie keimen und auswachsen sollen, auf bestimmte Grasarten verweht werden. Alle übrigen Sporen gehen zu grunde. Auf den betreffenden Gräsern aber, in unserem Falle also auf dem Getreide, keimen die Aecidiosporen aus, dringen in das pflanzliche Gewebe ein und bilden ein starkes Mycel, bis sie dann nach kurzer Zeit zur Uredo- und zuletzt zur Teleuto-

Digitized by Google

sporenbildung schreiten, welche beiden Fruchtformen eben den gefürchteten Getreiderost ausmachen. Die letzteren, äußerst zählebenden Dauersporen überwintern, gehen jedoch im nächsten Frühjahr zugrunde, wenn sie nicht auf die Blätter der Berberitze gelangen. Dort beginnt der Pilz seinen Kreislauf wieder mit der Aecidienbildung. Bei diesem Entwicklungsgang des Pilzes ist es nun klar, daß derselbe mit Notwendigkeit verschwinden muß, wenn ihm eine der beiden Wirtspflanzen entzogen wird, d. h. wenn eine Zeitlang kein Getreide mehr gebaut wird, oder noch besser, wenn die Berberitzensträucher sämtlich umgehauen werden. Ferner leuchtet ein, daß die Ansteckungsgefahr eines Getreidefeldes durch Rost dann am größten ist, wenn in unmittelbarer Nähe desselben Berberitzensträucher stehen, daß also die Praktiker des Mittelalters ganz richtig beobachtet und geurteilt hatten.

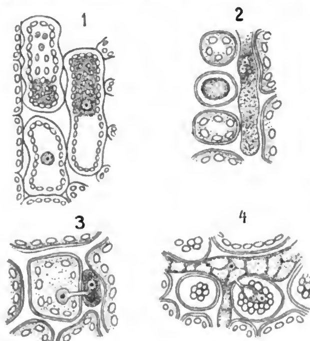


Fig. 363. Mycoplasma des Getreiderostes im Zellgewebe eines Getreideblattes. 1 Als sogenanntes „dickes Plasma" in den noch unbeschädigten Zellen. 2 Zellschlauch, der sich aus „dickem Plasma" bildet und zwischen den chlorophyllführenden Zellen des Blattes hindurchkriecht. 3 Aus einem solchen Pilzfaden streckt sich ein als Haustorium bezeichneter Saugfaden in eine Blattzelle und saugt deren Inhalt aus. 4 Fortgeschrittenes Stadium der Haustorienbildung, der Saugfortsatz des Pilzes hat die Chlorophyllkörner an sich herangezogen, um sie zu resorbieren. (Sehr stark vergrößert.) Nach Eriksson und Tischler.

Ein anderer Getreideschädling, Puccinia coronata, erzeugt im Frühjahr seine ebenfalls gelbe Aecidienform auf den Blättern des Faulbaumes, noch ein anderer P. Rubigo vera auf der Ackerochsenzunge, Anchusa arvensis. Der orangegefärbte Becherrost auf den Blättern der Stachelbeere bildet die Aecidienform der schwarze Teleutosporenhäufchen auf der scharfen Segge, Carex acuta, erzeugenden P. Pringsheimiana. Der Zitterpappelrost, Melampsora pinitorquum, bildet seine Aecidienform in sehr gefährlicher Weise auf jungen Kiefern aus, bei ihnen die sog. Kiefernddrehwüchsigkeit erzeugend; der Lärchenrost, M. tremulae, der seine Dauersporen ebenfalls auf der Zitterpappel ausbildet, erzeugt

Digitized by Google

seine Aecidienform auf Lärchen, deren Nadelblätter kurz nach dem Erkranken gelb werden und dann massenhaft abfallen, so daß die Bäume vielfach zugrunde gehen müssen. Der orangerote Gitterrost der Birnbaumblätter ist die Aecidienform des die Dauersporen in ansehnlichen gelben gallertartigen Massen an Stamm und Zweigen des Sadebaumes, Juniperus Sabina, erzeugenden Gymnosporangium Sabinae, usw.

Nun hat Eriksson nachgewiesen, daß diese Pilze, deren Mycel große Teile der Pflanze durchwächst, in die Samen der Wirtspflanze eindringen und darin in einem unsichtbaren Zustande verweilen. Obschon er dort selbst bei den stärksten Vergrößerungen nicht nachgewiesen werden kann, ist er trotzdem vorhanden und wächst unsichtbar mit der Pflanze heran, bis er endlich in manchen Zellen der Blätter eine unterscheidbare Form annimmt und darin als eine dunklere, zähe Masse von dicker Beschaffenheit erscheint. Dieses „dicke Plasma" ist die bis dahin verborgen gewesene Pilzsubstanz in der später rostkrank werdenden Pflanze, die sich alsbald zu Fäden auszieht und zu einem mit Querwänden abgegliederten regelrechten Mycel wird, der schmarotzend von Zelle zu Zelle weiterwächst, bis er, nachdem er die Wirtspflanze genug gebrandschatzt hat, die Fruktifikationsorgane zur Weiterverbreitung seiner Sporen durch den Wind aus ihr herausstreckt. Hier ist also die Symbiose ebenfalls schon so weit durchgeführt, daß der Keim der schmarotzenden Symbionten sich bereits mit dem Keime der Wirtspflanze vermählt, um desto sicherer den von ihm geforderten Kreislauf zu vollenden.

Und wie hier niedere und höhere Pflanze in allerdings einseitig ausnützender Lebensgemeinschaft leben, so tun sich nicht schmarotzende höhere Pflanzen zu gegenseitigem Schutz und Trutz zu bestimmten Gesellschaften und Verbänden zusammen und lassen wenn möglich keine neuen Eindringlinge sich in das von ihnen besetzte Gebiet einnisten. Deshalb gibt es für jedes Klima und für jede Bodenart ganz spezielle Vegetationsformen. Wie sich nun in der südafrikanischen Steppe drei völlig verschiedene Tierarten wie Strauße, Zebras und Gnus zusammentun, um ihre Feinde besser überwinden zu können, so finden sich überall in der Natur allerlei Pflanzen in Genossenschaften zusammen. Und wo dies auch nicht der Fall ist, so schließen sich wenigstens die Artgenossen möglichst eng zusammen. Besonders tun dies diejenigen Formen, deren Blüten und Früchte einzeln zu wenig in die Augen fallen, um dadurch als größere Einheit zur Wirkung zu gelangen.

Digitized by Google

Solche Vegetationsverbände bilden begreiflicherweise hauptsächlich kleinblütige Formen; großblütige dagegen machen sich nie in dieser Weise Konkurrenz, weil sie es nicht nötig haben. Dabei gilt als allgemeine Erfahrungstatsache, daß eine Art um so größere Aussicht hat, aus dem Kampfe mit ihren Lebenskonkurrenten siegreich hervorzugehen, je mehr sie sich auf Gebieten einfindet, wo für ihre spezielle Organisation günstige Lebensbedingungen herrschen. Je besser die klimatischen und übrigen Verhältnisse sind, um so weniger wählerisch ist sie und um so energischer nimmt sie den Kampf mit den zahllosen sich von allen Seiten an sie herandrängenden Mitbewerbern auf.

Wie alle Zonen ihre speziell angepaßte Tierwelt aufweisen, so besitzen alle ihre besonderen Florenreiche, in denen alle Pflanzenformen in ihrem äußern und innern Aufbau in vollständigem Einklange mit den sie umgebenden Naturverhältnissen stehen. Dies nennt Dr. Francé mit gutem Grunde die Harmonie der Anpassungen. Deshalb sind auf der ganzen Erde, mögen die Lebensbedingungen im einzelnen noch so verschieden sein, Flora und Fauna einander vollkommen angepaßte einheitliche Organismen, die ein geschlossenes harmonisches Ganzes bilden und sich dabei stets gegenseitig ergänzen.

Digitized by Google

XIV.

Das Schmarotzertum.

Da alle Symbiose auf egoistische Beweggründe zurückzuführen ist, so kann es uns nicht wundern, daß ein solches Verhältnis sehr oft direkt in ein Schmarotzertum übergeht. Sogar beim Zusammenleben gleichartiger Wesen sucht einer den andern zu übervorteilen, wie und wo er kann. Wenn der heilige Pillendreher, Scarabaeus sacer, der ganz in Schwarz gekleidete, größte und berühmteste unserer Mistkäfer seine Kugel aus frischem Mist mit der seitlichen Nische für das Ei mit vieler Mühe verfertigt hat und sich daran macht seine kostbare Wiege in irgend ein Versteck zu rollen, in welchem seine Nachkommenschaft mit Futter reichlich versehen sich ruhig entwickeln kann, so stellen sich immer Genossen ein, die unter dem trügerischen Vorwande der Hilfeleistung ihrem rechtmäßigen Besitzer die Pille zu stehlen versuchen. Selbst eine solche Jugendwiege herzustellen, erfordert viel ermüdende Arbeit, deshalb ist es natürlich bequemer, sich als Gast aufzudrängen und dann eine solche zu rauben. Wenn der Eigentümer nicht wachsam ist, so flüchtet der Räuber hinter seinem Rücken mit dem Schatz, um ihn für seine eigene Nachkommenschaft zu verwenden. Ist er aber wachsam, so sucht der kecke Genosse im Vertrauen auf seine Kraft sie ihm ohne Scheu zu entwenden. In dem dabei entbrennenden heftigen Kampfe zieht der rechtmäßige Eigentümer sehr oft den Kürzern und muß dem unverschämten Friedensstörer seine Beute überlassen. Gelassen ergibt er sich schließlich in sein Schicksal und kehrt zum Misthaufen zurück, um sich eine neue Kinderwiege herzustellen.

Solche Zustände führen zum eigentlichen Brutschmarotzertum, das bei zahlreichen Insekten in sehr ausgesprochenem Maße vorhanden ist und auf Kosten anderer Artgenossen ausgeübt wird. Ein bekanntes Beispiel hiefür bietet uns unter den höheren Tieren der Kuckuck, der die Mühe

Digitized by Google

der Brutpflege völlig andern insektenfressenden Vögeln aufhalst. Und zwar bringen die meisten Kuckucksweibchen ihre Eier nicht nur stets in demselben Revier, in welchem sie aufwuchsen, sondern auch bei derselben Art von Pflegeeltern, die sie selbst groß zogen, unter. So haben sich mit der Zeit örtlich durch die Färbung ihrer Eier ausgezeichnete Kuckucksrassen ausgebildet, die ihre immer wieder den gleichen Vogelarten zum Ausbrüten und Großziehen der Jungen anvertrauten Eier, damit diese leichter von den betreffenden Pflegeeltern in ihrem Gelege angenommen werden, in Größe und Aussehen den Eiern dieser anpaßten. Durch eigene Brutpflege nicht mehr in Anspruch genommen, legen die Kuckucksweibchen in längeren Intervallen einige zwanzig auffallend kleine Eier in die verschiedenen von ihnen ausgekundschafteten Nester. Es ist dies eine auffallend hohe Zahl, welche eben damit rechnet, daß ein größerer Teil derselben von den hiezu bestimmten Stiefeltern nicht angenommen wird und zugrunde gehen muß.

Mit dem Brutschmarotzertum hängt auch die bei seinen nicht so parasitisch lebenden Verwandten ungebräuchliche Vielehigkeit des Kuckucks zusammen, die meist in Vielmännerei besteht; denn die Kuckucksmännchen scheinen kleinere Standgebiete als die Weibchen zu haben, und diese pflegen in bedeutend geringerer Zahl als die Männchen vorzukommen, so daß in das Standgebiet eines Weibchens, das wegen der Notwendigkeit seine Eier in geeignete Pflegenester unterzubringen, sich nicht auf das Revier eines Männchens beschränken kann, die Standorte mehrerer Männchen fallen, die das betreffende Weibchen gut aufnehmen und, sich mit ihm paarend, durch ihr Revier begleiten. Da nun ein Männchen andere Rivalen in seinem Gebiete nicht duldet, so läßt es zur Zeit der Paarung unermüdlich seinen bekannten Ruf hören, um sein Besitzrecht andern Männchen gegenüber zur Geltung zu bringen und zugleich den etwa in sein Gebiet kommenden Weibchen seine Gegenwart anzuzeigen, welche die Einladung durch eine Art Kichern beantworten.

Das am Boden gelegte Ei wird vom Kuckucksweibchen mit dem Schnabel ergriffen und in Abwesenheit der Besitzer des auserwählten fremden Nestes in Einzahl in deren Nest eingeschoben und gleichzeitig, damit ein solcher Betrug weniger leicht offenbar werde, ein Ei des betreffenden Geleges beseitigt. Dabei soll es alle von ihm mit je einem Ei belegten Nester überwachen, sogar die Spitzen der fremden Eier möglichst oft nach derselben Seite und sein eigenes Ei in die Mitte des Geleges schieben, damit es ja die besten Chancen zum Ausgebrütetwerden besitze. Jedenfalls ist bald nach dem Ausschlüpfen des jungen

Digitized by Google

Kuckucks dieser stets allein im Nest. Weil er gewöhnlich etwa 24 Stunden früher als seine Stiefgeschwister ausschlüpft, ist das mit einem wahren Riesenhunger begabte und durch die reichliche Atzung außerordentlich schnell wachsende und erstarkende Kuckucksjunge diesen gegenüber stets im Vorteil. Vorlaut nimmt er diesen das Futter, das die Pflegeeltern kaum in genügender Menge für diesen Wechselbalg aufzutreiben vermögen, weg und wirft sie auch noch zum Neste hinaus, indem er sich rücklings unter sie schiebt und, sich am Nestrande aufrichtend, sie mit einer Rückwärtsbewegung über den Rand hinunterfallen läßt.

Nicht nur ist die Ähnlichkeit des Kuckuckseies in Größe und Farbe mit den Eiern der betreffenden Kuckuckspfleger, von denen wir gegenwärtig 117 Arten kennen, worunter die Grasmücken, Stelzen, Schilfsänger und Pieper bevorzugt werden, eine Schutzvorrichtung, eine solche ist auch seine auffallende Hartschaligkeit, die es vor dem Zerhacktwerden durch unwillige Pflegeeltern und das Zerbrechen durch das es im Schnabel tragende Kuckucksweibchen bewahrt; denn sieht letzteres das Nest, worin es sein Ei einschmuggelte, von Menschen beobachtet, so zögert es durchaus nicht damit, dasselbe in ein anderes Nest zu tragen, wo es ihm sicherer geborgen scheint.

Natürlich stammt der Kuckuck von Vorfahren ab, die selbst brüteten; und heute noch kommt es nach wohlverbürgten Mitteilungen vor, daß einzelne Weibchen durch das als Atavismus bezeichnete Rückschlagen in frühere Zustände ihre auf den Boden gelegten Eier bebrütend gesehen wurden, ja bisweilen sogar Nester zu bauen versuchen. Wie der Kuckuck zum Brutschmarotzertum kam zeigt uns der berüchtigte amerikanische Kuhvogel, Agaleus pecoris, der auch nur ausnahmsweise normal nistet und brütet, es meist jedoch vorzieht, andern Vögeln seine Eier unterzuschieben. Das sich ebenfalls durch große Gefräßigkeit auszeichnende Kuhvogeljunge beansprucht gleicherweise die ausschließliche Aufmerksamkeit der Pflegeeltern und erdrückt bald seine Stiefgeschwister. Nur ein kleiner Bruchteil dieser Kuhvögel oder Viehstaare ist noch nicht zu völligem Brutparasitismus übergegangen, legt seine Eier in gemeinsame Haufen, so daß nur ein Bruchteil derselben von opfermütigen Individuen bebrütet werden kann. Für die Fütterung der ausgeschlüpften Jungen wird dann von Mitgliedern der Genossenschaft gesorgt, die zufällig Neigung verspüren, Elternpflichten zu übernehmen.

Das Brutschmarotzertum des Kuckucks wurde jedenfalls auch durch seine ungeheure Gefräßigkeit begünstigt. Er lebt fast ausschließlich von den stark behaarten, eben deswegen von keinem andern Tiere gefressenen

Digitized by Google

Bärenraupen, so daß die Innenseite des Magens von den aufgespießten Haaren wie pelzig erscheint. Da nun der in einer Gegend vorkommende Bestand bald erschöpft sein dürfte, so ist der Vogel gezwungen öfters seine Jagdgründe zu wechseln und weit herumzuziehen, was der Gründung eines regelrechten Hausstandes jedenfalls sehr hinderlich ist. Zudem legt das Weibchen nur etwa alle sechs Tage ein Ei, da sich nach Schuster wegen des großen Magensackes nur eines in dieser Zeit bilden kann. Wie schon solche verzettelte Eiererzeugung ein normales Brüten erschwerte, so mußte auch das Mißverhältnis der Geschlechter von fünf bis zehn Männchen auf ein Weibchen eine normale Pärchenbildung, die eine geregelte Fortpflanzung bei Nesthockern erfordert, unmöglich machen.

Zahllos wie die Fälle von Symbiose sind auch diejenigen des Schmarotzertums, wobei wir alle Übergänge vom Kommensalismus oder Mitessertum zum eigentlichen Parasitismus haben. Oft sind die Mitesser durch ihre Größe und den Sitz, den sie sich auserwählen, dem Wirte lästig, wie die Fischasseln von recht bedeutender Größe, die sich im Munde zahlreicher Fische niederlassen, oft in Mehrzahl oder ein ungeheures Weibchen mit dem kleinen Männchen zusammen, so daß für das Wirtstier nur noch ein schmaler Eingang in den Schlund übrig bleibt. Solche Mitesser saugen dann bisweilen auch Nährstoffe, besonders Blut, von ihrem Wirte oder fressen ihn geradezu auf, wie dies beispielsweise die Weibchen der den Hyperiden nächstverwandten Schifferkrebse, Phronima sedentaria, tun. Während ihre mit langen Fühlern versehenen Männchen nur freischwimmend angetroffen werden, suchen die Weibchen, nachdem die Eier befruchtet und in der Bruttasche aufgenommen sind, eine Feuerwalze (Pyrosoma), eine Salpe (Doliolum), eine Rippenqualle (Beroë) oder einen Schwimmpolypen (Diphyes) auf und fressen das Innere derselben aus, so daß nur noch die vorn und hinten offene, röhren- oder tonnenförmige, glashelle Hülle übrig bleibt. In einem solchen wahren Kristallpalast schwimmen nun die Phronimaweibchen umher, indem sie sich mit ihren Scherenfüßen an den durchsichtigen Wänden der Behausung festhalten und mit den an dem herausgestreckten Hinterleibe befindlichen drei Paar Schwimmbeinen vorwärts rudern. In dieser zierlichen Wohnung verbleibt dieser wenig Centimeter große Flohkrebs des Atlantischen- und Mittelmeeres, bis die herausgeschlüpfte Brut herangewachsen ist. Die den Quallen- und Schifferkrebsen eigentümlichen großen Augen, die im Gegensatz zu den bei Schmarotzern und Mitessern sonst nur gering ausgebildeten Augen außerordentlich stark

Digitized by Google

entwickelt sind, dienen ihnen trefflich dazu, bei dem öfter wiederkehrenden Wohnungswechsel neue Wirte auszuspähen.

Während die freien Mitesser, auch dann wenn sie auf kürzere oder längere Zeit auf die volle Freiheit verzichten, ihre Tracht und Kleidung vollständig beibehalten, ist dies bei den seßhaften Mitessern nur in ihrer Jugend der Fall, so lange sie selbständig umherschwimmen. Beim Eintritt der Geschlechtsreife suchen sie sich einen Wirt auf, setzen sich an ihm fest, werfen ihre Bewegungsorgane ab und verändern ihr Aussehen, indem sie zu Gunsten übergroßer Bequemlichkeit für immer auf ein selbständiges Leben verzichten und ihr Schicksal auf immer an dasjenige ihres Trägers und Wirtes ketten. Bei ihnen führt die rückschreitende Metamorphose, auch wenn sie nicht zu gänzlichem Schmarotzertume übergehen, zu sehr hochgradigen Veränderungen; es sei hier nur an die Cirripedier oder Rankenfüßler unter den Krebsen, die Entenmuscheln, Seepocken und Wurzelkrebse erinnert. Diese Formen alle, die beim Ausschlüpfen aus dem Ei wohl ausgebildete, geschmeidige Krebse mit anmutigen und schnellen Bewegungen sind, verlieren später ihre Beweglichkeit und Eleganz und sind, nachdem sie sich festgesetzt und ihr Faulenzerleben begonnen haben, in ihrer umgewandelten Gestalt kaum mehr als Mitglieder des Krebsstammes zu erkennen. Die Lepaden oder Entenmuscheln lassen sich mit Vorliebe von Fischen und Walen, auf deren Oberhaut sie sich festsetzen, durchs Wasser dahinschleppen, und zwar hat jede dieser Fischarten ihre besondern Formen, die sich an ihrem Körper an bestimmten Stellen festsetzen. Während der riesige Grönlandswal Balaena mysticetus, frei von Seepocken bleibt, bedeckt sich der langflossige, bis 20 und mehr Meter lange Buckelwal, Megaptera boops, so frühzeitig mit einer besonderen Pockenart, Diadema balaenaris, daß die Grönländer behaupten, er käme mit ihr auf die Welt, was natürlich unzutreffend ist. Und zwar sitzen diese Diademen beim Buckelwal an der Bauchfläche, wie an den Schwanz- und Brustflossen. Bei den Glattwalen der Südsee sitzt die Tubicinella trachealis nur auf der sogenannten Krone des Kopfes, die Coronula balaenaris außer dem Oberkopf auch noch auf den Schwanz- und Brustflossen. Während diese festsitzenden Mitesser-Krebse mit festen Kalkplatten umgeben sind, entbehrt die als Muschelfeile bezeichnete Lepade Cochlorine hamata derselben. Wie letztere bohrt sich eine weitere Art, die Haifischlepade, Anelasma squalicola, die nur verkümmerte Füße und gering entwickelte Mundwerkzeuge besitzt, mit Hilfe ihres kurzen, dicken, unten mit wurzelartigen Fortsätzen versehenen

Digitized by Google

Stiels in die Rückenhaut des sie beherbergenden Haifisches ein und ergänzt die gelegentlich von außen aufgenommene Beköstigung auf direkterem Wege durch die Säfte, welche seitens der verästelt in das Fleisch des Fisches eindringenden „Wurzeln," aus diesen aufgenommen werden. Diese Anelasma führt direkt von den Mitessern zu den systematischen Schmarotzern unter den Krebsen, den Wurzelkrebsen, deren verkrüppelte, erblindete Gestalten in ihren außerordentlich mannigfachen Erscheinungen uns überall hauptsächlich bei Meerfischen, seltener bei Süßwasserfischen entgegentreten. Oft leben aber auch Mitesser wiederum auf Mitessern, die beide derselben Krebsordnung angehören. So kann man auf den gewöhnlichen Entenmuscheln verschiedene Gattungen antreffen, auf den Diademen des nördlichen Stillen Ozeans fast immer Ocion- und Cinera-Arten; die winzige, etwa 4 mm große Protolepas bivincto lebt auf dem Mantel der verwandten Alepas cornuta, ebenso wie der Elminius auf andern Cirripediern. Ähnlich wie sie verhalten sich auch die Pranizen, eine andere Krebsgattung, deren Männchen frei leben, während sich die Weibchen an den Kiemen und auf der Haut von Hai- und Knochenfischen festsetzen, ebenso die den Fischern seit langer Zeit bekannten Walfischläuse. Diese letzteren, der Gattung Cyamus zugehörend, welche ähnlich den Walfischpocken in verschiedenen Arten verschiedenen Waltieren zukommen, bilden ebenfalls alle Übergänge zu echten Schmarotzern, indem sie sich in die Haut ihrer Wirte einbohren und sich von ihrem Blute ernähren. Wie die Cyamen, so durchkreuzen auch die Anilocren und Nerocilen auf dem Rücken gut schwimmender Meeresbewohner die See, teils selbständig Nahrung zu erhaschen suchend oder sie bei ihrem Wirte holend.

Während die Grenze zwischen Mitessern und Mutualisten meist völlig verwischt ist, so daß sich kaum entscheiden läßt, ob die Gäste nur einen Sitz bei ihrem Wirte verlangen oder auch noch auf einen Teil des täglich geforderten Mahles Anspruch machen, so ist in der Regel die Scheidelinie zwischen Tischgenossen und Schmarotzern scharf gezogen, indem letztere sehr bald infolge ihrer bequemen parasitischen Lebensweise degenerative Veränderungen an ihrem Körper erfahren, die sie von vorne herein zu Schmarotzern stempeln. Fast alle Parasiten leben in der Jugend selbständig und bewegen sich frei umher, um erst erwachsen das gemeine Schmarotzerdasein zu beginnen. Und zwar sind es in der Mehrzahl der Fälle zuerst nur die Weibchen, die sich einer solchen räuberischen Gewohnheit hingeben. Das können wir genau an den verschiedenen Stechfliegen beobachten, die sich aus saugenden Formen

Digitized by Google

entwickelten. Bei ihnen allen, mögen sie Bremen, Schnaken, Moskitos usw. heißen, haben nur die Weibchen sich zu Blutsaugern ausgebildet, während die Männchen in allen Fällen sich vom Saugen von Pflanzensäften ernähren. Diese Gewohnheit nahmen die Weibchen jedenfalls aus dem Grunde an, daß sie eben zur Ausreifung der zahlreichen Eier einer möglichst nahrhaften Kost bedürfen, die sie zuerst am Schleime und dem aus Wunden heraussickernden Blutwasser, der Lymphe, fanden und nach und nach durch Bohren in die Haut direkt dem Körper in Form von Blut entnahmen. So sind die Weibchen der Stechfliegen heute dazu gelangt, daß sie ihre Eier überhaupt erst ausreifen lassen können, wenn sie Blut eines Warmblüters getrunken haben und damit in den Besitz des allerausgiebigsten Nahrungsstoffes gelangt sind.



Fig. 364. Durch Schmarotzertum zu einem unförmlichen Sacke degeneriertes Weibchen einer Binnenassel von der linken Seite; k Kopf, s Schwanz, b die sehr ausgedehnten Brutlamellen mit den Eierstöcken. (Vergrößert.)

So suchen gleicherweise auch bei den Schmarotzerkrebsen nur die Weibchen Herberge und Unterhalt bei Nachbarn, während die Männchen, an deren Körper weit geringere Ansprüche in Bezug auf Fortpflanzung gestellt werden, bei ärmlicher Kost ihr freies Leben fortsetzen. Solche Verhältnisse begegnen uns bei schmarotzenden Ruderfüßlern, z. B. den Saphirkrebschen, Weiß- und Barschläusen, Lernaeiden, usw. Als Folge dieser parasitischen Lebensweise nehmen die Weibchen durch rückschreitende Entwicklung eine ganz unförmliche Gestalt an, so daß sie den Männchen ganz und gar unähnlich werden. Derartige meist hochgradig umgebildete „Riesenweibchen“, neben denen die regelrecht gegliederten „Zwergmännchen“ ganz zurücktreten, treten uns bei zahlreichen schmarotzenden Ruderfüßlern und den als Garneelen-Asseln bezeichneten Familien der Bopyriden und Kryptonisciden entgegen. Bei den betreffenden Ruderfüßlern ist der Leib der Weibchen wurmartig verlängert und unförmlich angeschwollen, vielfach ohne Gliederung und nur mit zwei wurstförmigen Eiersäckchen zu beiden Seiten versehen, während die sehr viel kleineren

Digitized by Google

Männchen — beispielsweise sind die Weibchen der im Rachen und an den Kiemen von Barsch und Zander schmarotzenden Barschlaus, Aetheres percarum, 4—5 mm, die Männchen nur 0,8 mm lang, also fünfmal kleiner — ihre ursprüngliche Körpergliederung und ihre Sinnesorgane meist gut ausgeprägt beibehalten. Ebenso schwellen die weiblichen Garneelen-Asseln, nachdem sie sich in der Kiemenhöhle ihrer derselben Klasse angehörenden Wirte festgesetzt haben, bis zur Unkenntlichkeit auf und stellen sich als ganz unsymmetrische, augenlose Wesen dar, während die Männchen sich ihre zierliche Gliederung und Symmetrie, die Augen und volle Beweglichkeit bewahren. Die Weibchen sind hier das stärkere Geschlecht, an das sich vielfach die Zwergmännchen, wenn sie ihr Junggesellenleben aufgeben wollen, anklammern, um auf ihm, gleichsam als Parasit auf dem Parasiten, sitzen zu bleiben. Das Weibchen zieht seine Nahrung aus dem Wirt und ernährt seinerseits das Männchen. Dieselben Verhältnisse finden wir bei gewissen Rankenfüßlern, bei denen mit dem Auftreten von Zwergmännchen die größeren Individuen durch Verkümmerung der männlichen Organe aus Zwittern, was die Rankenfüßler im allgemeinen sind, zu Weibchen werden. So bei der ganzen Unterordnung der Abdominalia mit den Familien der Alcippiden und Kryptophialiden, deren Weibchen in der Kalkschale von Mollusken schmarotzen und die der Rankenfüße, wie auch des Mundes entbehrenden winzigen Männchen dauernd an ihren Genitalien hängen haben. Bei manchen Arten der Entenmuschel-Gattung Scalpellum hat Darwin das Vorhandensein von winzigen „Ergänzungsmännchen“ nachgewiesen, die ohne irgendwelche Bewegungsorgane und ohne Magen zu mehreren den Weibchen aufsitzen, so daß hier geradezu von schmarotzender Vielmännerei gesprochen werden kann.

Unter den Rankenfüßlern zeitigt das Schmarotzertum aber noch andere absonderliche Erscheinungen. Wie wir bei ihnen verkümmerte Männchen finden, die nur auf Kosten ihres eigenen Weibchens existieren, so kennt man auch Arten, die ohne Schale und ohne Beine im Innern von andern Rankenfüßlern hausen. Von den Wurzelkrebsen schmarotzen die Peltogaster-Arten gern an den Körpersegmenten anderer Wurzelkrebse, die eigentlichen Sackwurzelkrebse der Gattung Sacculina unter dem Hinterleib von Taschenkrebsen und Krabben usw. Merkwürdigerweise können auf diesen weichhäutigen parasitischen Wurzelkrebsen wiederum Kruster höherer Ordnung schmarotzen, wie z. B. die Schmarotzerassel Cryptoniscus pygmaeus am Peltogaster des Einsiedlerkrebses und eine verwandte Spezies, Cr. curvatus, an Sacculinen; an letzteren

ferner die zu den Garneelenasseln zählende Liriope und an den Wurzeln der auf einem Einsiedlerkrebse sitzenden Sacculina purpurea zwei andere Asseln, welche die der Sacculina von den Wurzeln zuzuführenden Säfte vorwegnehmen und dadurch jene zum Absterben bringen, wonach jedoch die Wurzeln allein weiter wuchern. Zahlreiche Schmarotzerasseln siedeln sich, wie die Wurzelkrebse, an der Brusthöhle oder dem Bauche unter dem Panzer von Klassengenossen an und zeigen dabei infolge ihrer Lebensweise eine ebensolche Degeneration ihres Körpers. Ebenso erging es den schmarotzenden Copepoden oder Ruderfüßlern, die mit ihren Verwandten als sogenannte Wurmkrebse auf allen Wassertieren leben, je nach der Art von den Walen bis hinab zu den Stachelhäutern und Polypen, doch vorzugsweise und zum Teil massenhaft auf den Fischen. Sie siedeln sich auf der Haut oder an den Kiemen ihrer Nachbarn an, setzen sich auch bisweilen in die Nasengruben und an den Augäpfeln fest; bald hängen sie äußerlich, bald verstecken sie sich in der Haut und stehen nur durch eine enge Öffnung derselben mit der Außenwelt in Verbindung. „Die elegantesten unter ihnen", sagt Bruno Dürigen, „die fast wie eine lebende Feder aussehenden Federwurmkrebse (Penella) finden sich, mit dem Vorderteil in die Gewebe des Wirtes tief eingesenkt, am Körper und Auge pelagischer Fische, beispielsweise der Sprotten und fliegenden Fische, die Penella crassicornis auf einem Entenwal, die Penella balaenopterae auf einem Finnwal (Balaenoptera) von den Lofoten, die Lernaeodiscus nodicornis auf einem Delphin. Die bekannteste Art der eigentlichen Lernäen, Lernaea branchialis, schmarotzt an den Kiemen von Dorschen und Flundern, Leierfischen (Callionymus) und Seehasen, eine zweite Art (L. cyclopterina) an den Kiemen von Seehasen und Seeskorpionen, mehrere Arten von Lernaeocera bohren sich in das Fleisch von Süßwasserfischen ein; und sollten wir noch alle andern nennen, namentlich auch jene, welche in der Kiemenhöhle von Mantel- und andern Tieren (Nicothoë astaci z. B. beim Hummer), an Borstenwürmern und Seesternen, Kork- und Blumenpolypen ihr Dasein fristen, so dürfte es eine lange Liste werden und zu weit führen." Jedenfalls dürften die hier angeführten Beispiele genügen, um einen Einblick in die mannigfaltigen Abstufungen des Daseinskampfes auf diesem Gebiete zu gewinnen. Ebenso mannigfaltig wie die fast unübersehbare Schar der Schmarotzerkrebse sind die parasitischen Würmer, die außer an fast allen Wassertieren auch in den Eingeweiden sämtlicher Landtiere bis hinauf zum Menschen oft in großer Zahl schmarotzen. Alle höheren Tiere sind von zahlreichen

Digitized by Google

Würmern heimgesucht und bilden oft sehr individuen- und artenreiche Parasitenherbergen. Ist doch der Fall bekannt geworden, daß ein erst zweijähriges Pferd etwa 500 Spulwürmer, 214 Palisadenwürmer, 190 Pfriemenschwänze, 287 Fadenwürmer und 69 Bandwürmer gleichzeitig enthielt. Bei solch außerordentlichem durchschnittlichen Parasitenreichtume ist es kein Wunder, daß zahllose Tiere beständig an Schmarotzern zugrunde gehen. Wie manches edle Pferd ist schon an Palisadenwürmern eingegangen! Wie verhängnisvoll ist dem Menschen die winzige Trichine des Schweines geworden, die jenes durch Fressen von Rattenkadavern akquirierte, zu einer Zeit da die Lebens- und Entwicklungsgeschichte dieses Wurmes noch nicht aufgeklärt war! Die Schädigungen, welche der Landwirt durch das Befallenwerden seiner Haustiere durch Parasiten erleidet, werden gewöhnlich sehr unterschätzt. Wenn Raubtiere gelegentlich einige Stücke Vieh zerreissen, so erregt das gewöhnlich großes Aufsehen, aber diese Schädigung steht doch in gar keinem Verhältnisse zu den Verheerungen des winzigen Leberegels, der alljährlich viele Hunderttausende, ja Millionen von Schafen zugrunde richtet, und dem in gewissen Gegenden in kurzer Zeit ein Viertel oder gar die Hälfte der Schafherden zum Opfer fiel.

Weitaus der größte und gefährlichste Parasitenträger unter allen unsern Haustieren ist beispielsweise der Hund, dessen Darm außer Rundwürmern, Spulwürmern und Haarwürmern nicht weniger als fünf Bandwurmarten bewohnen, so der winzige, im ausgebildeten Zustande nur 4 mm lange, dreigliederige Bandwurm Taenia echinococcus, der gelegentlich zu Hunderten, ja Tausenden im Dünndarme seines Wirtes schmarotzt, dessen Finne, der Echinococcus oder Hülsenwurm, als Zwischenwirt in Schwein, Rind, Ziege, Schaf, aber auch im Menschen gefunden wird und in ihnen bis zu kindskopfgroße Blasen mit oft Hunderten und Tausenden von Tochterblasen und Bandwurmköpfchen erzeugt, dann der einen halben Meter lang werdende Quesenbandwurm, Taenia coenurus, dessen Finne als eine bis hühnereigroße, an der Innenfläche mit zahlreichen Bandwurmköpfchen besetzte Blase, Drehwurm oder Hirnquese genannt, im Gehirn von Wiederkäuern, besonders Schafen, lebt und bei ihnen die Drehkrankheit erzeugt, ferner der bis zu 50 cm lang werdende gesägte Bandwurm, Taenia serrata, dessen Finne als erbsengroßer Blasenwurm oft in ganzen Trauben im Gekröse von Hasen und Kaninchen sitzt, weiter der geränderte Bandwurm, Taenia marginata, dessen Finne in den Eingeweiden von Schwein und Wiederkäuern helle Blasen von Wall-

Digitized by Google

nuß- bis Faustgröße erzeugt, und endlich der elliptische Bandwurm, Taenia elliptica, der neben dem 40 cm langen Katzenbandwurm, Taenia crassicollis, auch im Darme der viel reinlicheren Hauskatze vorkommt.

Eine bevorzugte Parasitenherberge bildet natürlich das unreinliche Schwein, das außer den durch Essen von Rattenkadavern erworbenen, bereits erwähnten Trichinen, vorzugsweise die Finne des im menschlichen Darme zum bis zu 3,5 m Länge auswachsenden Einsiedlerbandwurms, Taenia solium, beherbergt. Neben dem gemeinen Spulwurm, Ascaris lumbricoides, den der Mensch besonders in seiner unreinlicheren Jugend mit ihm teilt, besitzt es vor allem den im Männchen 9 cm, im Weibchen jedoch 40 cm Länge erreichenden Riesenkratzer, Echinorhynchus gigas, dessen Jugendstadium in Maikäfern lebt und von ihm durch Fressen solcher Käfer erworben wird. Außerdem lebt oft ein Palisadenwurm, Strongylus paradoxus, in dessen Luftröhre, um es vielfach schwer krank zu machen. Die Hausrinder dagegen besitzen außer der Finne des selteneren gezähnelten Bandwurms, Taenia denticulata, besonders häufig die des bis zu 8 m langen feisten Bandwurms, Taenia saginata oder mediocanellata. Von Rundwürmern lebt der Riesenpalisadenwurm, Eustrongylus gigas, dessen Männchen 30 cm und das Weibchen 1 m lang wird, im Nierenbecken wie in der freien Bauchhöhle des Rindes, wie auch von Hund und Pferd. Ein anderer Palisadenwurm, Strongylus micrurus, wohnt vielfach in der Luftröhre und der so außerordentlich gefährliche große und kleine Leberegel, Distomum hepaticum und D. lanceolatum, in der Leber und Gallenblase des Rindes, wie auch der Schafe, bei ihnen die Leberfäule verursachend, an welcher jährlich Millionen dieser Nutztiere zugrunde gehen. Ein einziger Leberegel legt etwa 40000 Eier, die mit der Galle in den Darm und mit dem Kot ins Freie gelangen. Im Wasser entsteht daraus eine mit einem Flimmerkleide versehene Larve, Miracidium genannt, die sich etwa eine halbe Stunde lebhaft hin- und herbewegt, um eine kleine Wasserschnecke, Limnaeus minutus, aufzusuchen, in deren Leib sie sich in der Umgebung der Atemhöhle einbohrt. Hier wächst sie nach Verlust des nunmehr überflüssig gewordenen Wimperkleides zu einer Sporocyste aus, die in sich sogenannte Redien erzeugt. Diese letzteren lassen durch Zellenwucherungen mit nachfolgender Abschnürung Cercarien als kleine platte Wesen mit einem Saugnapf vorn und einem Ruderschwanze hinten hervorgehen, die durch Platzen der mütterlichen Hülle wiederum ins Wasser gelangend sich einen neuen Wirt, meist abermals eine Schnecke, aufsuchen, sich an ihm groß mästen,

Digitized by Google

um ihn dann zu verlassen und sich an allerlei an feuchten Stellen wachsenden Wiesenpflanzen durch Ausscheidung einer erhärtenden Schleimhülle zu verpuppen. Hier warten sie ruhig, bis Rinder oder Schafe sie mit dem Futter verzehren. Im Magensafte wird der eingekapselte junge Leberegel durch Auflösung seiner Hülle frei und kriecht mit unfehlbarer Sicherheit nach Passieren des Zwölffingerdarms in die Gallenausführungsgänge und von da in die Leber, um da schmarotzend zum geschlechtsreifen Tiere auszuwachsen und sich nach der Paarung fortzupflanzen.

Ebenso kompliziert ist der Entwicklungsgang eines Vetters dieses Leberegels, des Distomum macrostomum, das in der Kloake von verschiedenen insektenfressenden Vögeln, wie Rotkehlchen, Grasmücke, Bachstelze und Nachtigall, schmarotzt. Von da müssen die ebenfalls sehr zahlreichen Eier dieses Parasiten mit den Exkrementen des Vogels auf Blätter gelangen und mit diesen von der kleinen Bernsteinschnecke, Succinea amphibia, gefressen werden. In deren Magen kriecht die als Miracidium bezeichnete Wimperlarve aus, um die Darmwand der Schnecke zu durchbohren und in der Nähe derselben liegen zu bleiben. Aus ihr entsteht nun eine Sporocyste von eigentümlicher Gestalt, die lange Schläuche in die Fühler der Bernsteinschnecke treibt.

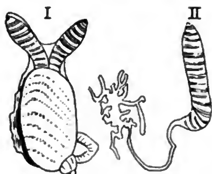


Fig. 365. I Bernsteinschnecke mit Leucochloridienschläuchen in beiden Fühlern. II Ein solcher aus der Schnecke herauspräpariert.

Diese gelblich weiß mit grünen Ringen und braunroter Spitze durch die Fühler der Schnecke hindurchschimmernden Schläuche werden als Leucochloridienschläuche bezeichnet, weil man sie früher, bevor man den richtigen Sachverhalt erkannte, als ein besonderes, Leucochloridium paradoxum genanntes Wesen auffaßte. Sie stellen die sogen. Ammengeneration des Schmarotzers dar, ragen oft weit aus den Fühlern heraus und bewegen sich sehr lebhaft, so daß sie die Neugierde der Vögel erregen und von diesen, denen sie als eßbare Würmchen erscheinen, gerne gefressen werden. Und zwar wachsen der Schnecke, der das Abpicken derselben nichts schadet, immer wieder neue Schläuche nach, wenn solche von einem insektenfressenden Vogel aus den Fühlern der Schnecke herausgebissen wurden. Aus den abgebissenen und verschluckten Leucochloridien werden im Darmkanal des betreffenden Vogels die darin eingeschlossenen, mit einem Saugmund und Ruderschwanz versehenen Cercarien

Digitized by Google

frei, um alsbald zu geschlechtsreifen Würmern auszuwachsen, die sich in der Kloake des Vogels festsetzen, um auf geschlechtlichem Wege Nachkommen zu erzeugen, die den mit Wirtswechsel verbundenen Generationswechsel von neuem zu vollführen suchen.

Dicke Bände sind über die zahllosen bis jetzt beim Menschen und seinen Haustieren bekannt gewordenen Parasiten und deren vielfach sehr merkwürdige Lebensläufe geschrieben worden, und doch sind wir damit noch lange nicht am Ende der Erkenntnis, von den freilebenden Tieren und ihren mannigfaltigen Schmarotzern ganz zu schweigen. Neben der unübersehbaren Schar von großen Parasiten sind in jüngster Zeit besonders die winzigen einzelligen Protozoen als krankmachende Blutschmarotzer in den Vordergrund des Interesses getreten. Diese auf der untersten Stufe der Entwicklung stehen gebliebenen Tierchen werden gewöhnlich als Flagellaten bezeichnet, weil sie sich durch das pendelnde Hin- und Herschwingen einer Geißel durch das von ihnen bewohnte flüssige Medium des Blutes dahinbewegen. Zu ihnen gehören die mancherlei gelegentlich im Blute fast aller Tiere schmarotzenden Trypanosomen, welche die Naganakrankheit, d. h. mit einem Ausdrucke der rinderzüchtenden Kaffern das Kraftloswerden der Rinder, die Surrakrankheit der Pferde, Esel, Maultiere, Büffel, Kamele und Elefanten, wie auch die Schlafkrankheit der Neger Zentralafrikas hervorrufen und durch die Stechwerkzeuge ganz bestimmter blutsaugender Stechmückenweibchen von kranken auf gesunde Individuen übertragen werden. Zu solchen winzigen Blutschmarotzern, die aber nicht mehr im Blutwasser, sonden im Innern der roten Blutkörperchen schmarotzen, gehören auch die Erreger der so gefährlichen, als Texasfieber bezeichneten Rinderseuche, die man als Piroplasmen bezeichnet. Sie werden durch den Stich der Rinderzecke, Ixodes bovis, auf gesunde Tiere übertragen, bevor noch diese Zecken Gelegenheit hatten, an krankem Blut zu saugen. Schon die Eier dieser Zecke werden im Mutterleibe mit den Piroplasmen infiziert, so daß mit dem austretenden Speichel beim ersten Blutsaugen der jungen Zecke das betreffende Rind unfehlbar angesteckt wird. Desgleichen wird die besonders im Burenkriege so verhängnisvolle, durch ganz Südafrika verbreitete Pferdesterbe von einem als Hämosporidium bezeichneten, innerhalb der roten Blutkörperchen schmarotzenden Protozoon hervorgerufen, das ebenfalls durch eine ganz bestimmte blutsaugende Stechfliege übertragen wird.

Sehen wir uns als Beispiel einer solchen durch Blutschmarotzer hervorgerufenen Blutkrankheit das als Malaria bezeichnete Sumpf-

Digitized by Google

fieber näher an, das stets nur durch den Stich einer gewissen weiblichen Schnake übertragen wird. Diese gehört zur Gattung Anopheles, deren Jugendstadien an das Wasser gebunden sind. Saugt die Mücke, die zur Erreichung der Geschlechtsreife und zur Hervorbringung der zahlreichen Eier Blut eines Warmblüters, und zwar speziell des Menschen

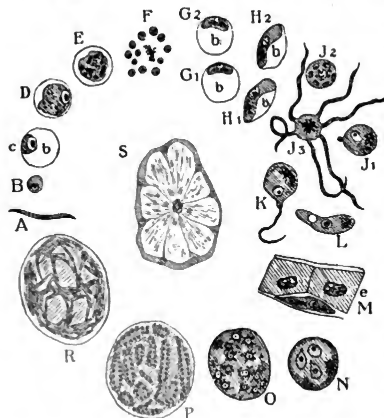


Fig. 366. Entwicklungskreis des Erregers der tropischen Malaria, Plasmodium praecox. A—F ungeschlechtl. Form, G—S geschlechtliche Form. A einzelner Sporozoit oder Sichelkeim aus der Speicheldrüse der Mücke, der mit dem Speichel in den Blutkreislauf des Menschen gelangt. Dort wird er zur Kugel B verwandelt, in C wandert er in ein rotes Blutkörperchen b ein, in welchem er zum ausgebildeten Plasmodium in D auswächst, E dasselbe am Beginne der Teilung; in F schwärmen die durch ungeschlechtl. Teilung entstandenen Sprößlinge (Schizonten) aus, um neue rote Blutkörperchen aufzusuchen, den unverdaulichen Rest des roten Blutkörperchens als Pigmentschollen zurücklassend. Die folgenden zwei Figuren stellen die Geschlechtsformen des Malariaparasiten als sog. Sichelkeime in roten Blutkörperchen dar, und zwar G¹ die männliche und G² die weibliche. Letztere bildet sich im Mückenmagen zum Makrogameten J² um, während erstere zum Mikrogametocyten J¹ wird, der in J³ unter heftigen Bewegungen die sechs Mikrogameten abschleudert. In K kopuliert ein solcher mit einem Makrogameten, der ihm den Empfängnishügel entgegenstreckt. Der befruchtete Makrogamet wird dann zum Ookinet L, der sich alsbald mit dem spitzen Ende durch das Epithel e des Mückenmagens hindurchbohrt M, um hier zur Oocyste O-R auszuwachsen. S Querschnitt durch einen der drei Lappen einer Speicheldrüse der Mücke, dessen Gewebe mit Sporozoiten gefüllt ist

trinken muß, Blut eines an Malaria Leidenden, so steckt sie sich mit dem betreffenden Schmarotzer an. Dieser als Plasmodium malariae bezeichnete Blutschmarotzer lebt beim Menschen in drei verschiedenen Arten in den roten Blutkörperchen: als Plasmodium praecox das Wechselfieber der Tropen, als Plasmodium vivax das weniger bös-

Digitized by Google

artige Tertianfieber und als Plasmodium malariae das noch gutartigere Quartanfieber erzeugend. Beschränken wir uns nun auf die tropische Art, welche die kleinste, aber bösartigste Form dieses Zellschmarotzers darstellt. Nur die jungen Keime dieses Plasmodiums weisen eine amöboide Beweglichkeit auf. Sie befallen in Mehrzahl, bis zu fünf, ein rotes Blutkörperchen, gelangen sehr bald zur Ruhe und nehmen dabei meist eine Ringform an. Auf Kosten des befallenen roten Blutkörperchens wächst der Parasit und zerfällt innerhalb 24 bis 48 Stunden, und zwar ausschließlich in den innern Organen, hauptsächlich in den feinsten Verzweigungen der Milz- und Knochenmarkarterien, in 16 bis 20 Sporen, die, freigeworden, neue rote Blutkörperchen befallen, wobei eben jeweilen ein Fieberanfall entsteht, und den Zyklus der ungeschlechtlichen Fortpflanzung in gleicher Weise fortführen, bis sich schließlich ihre Lebenskraft erschöpft hat.

Nach achttägigem Verweilen im Menschenblute bildet das Plasmodium praecox die Geschlechtsformen in Gestalt von Halbmonden. Und zwar sind die (männlichen) Mikrogametocyten etwas kleiner und blasser gefärbt als die (weiblichen) Makrogameten, welche auch gewisse Anilinfarbstoffe, wie Methylenblau, stärker aufnehmen. Im Blute des Malariakranken kreisen sie passiv, ohne eine weitere Umwandlung durchzumachen, nur darauf wartend, von einer Stechmücke, und zwar muß es durchaus ein Anopheleswеibchen sein — von den Männchen aller Stechmücken wurde ja bereits gesagt, daß sie kein Blut saugen — beim Blutsaugen in ihr Verdauungsrohr aufgenommen zu werden. Ist letzteres geschehen, hat eine Anophelesmücke an einem Malariakranken Blut gesogen, so verdaut sie in ihrem Magen mit den roten Blutkörperchen die ungeschlechtlichen Formen der Malariaplasmodien. Ist aber die Lufttemperatur höher als 18° C., so kommt im Magen dieser Mücke auf einmal neues Leben in die bis dahin in einem von ihnen aufgezehrten roten Blutkörperchen ruhenden Gameten. Schon 10 bis höchstens 20 Minuten nach dem Übertritt des Blutes aus dem warmen Körper des Malariakranken in den relativ viel kühleren Mückenmagen schleudern die Mikrogametocyten oder Sammelmännchen unter heftigen Bewegungen je sechs feine, schlangenartig sich bewegende Fäden mit reicher Kernsubstanz aus, die sich alsbald loslösen und als die eigentlichen Mikrogameten oder Männchen die ruhenden Makrogameten oder Weibchen aufsuchen. Diese haben inzwischen etwas Kernsubstanz als Richtungszellen abgeschnürt und strecken den Mikrogameten, die sie chemotaktisch anziehen, den Empfängnishügel entgegen. Sowie der

Digitized by Google

befruchtende Mikrogamet eingedrungen ist, wird er in sog. hyaline Substanz eingebettet, männlicher Vorkern und Eikern verschmelzen miteinander und die Eifurchung nimmt ihren Anfang.

Bald nach der Befruchtung wird die Eizelle spindelförmig und auffallend beweglich, weshalb sie nun den Namen Ookinet erhält. Mit dem sich alsbald bildenden spitzen Ende bohrt sie sich unterhalb des Epithels des Mückenmagens ein, um hier durch intensive Zellteilung zu einer sich immer mehr nach außen vorwölbenden Kugel, die nunmehr ruhig geworden den Namen Oocyste erhält, auszuwachsen. Bis zu 200 solcher weit unter stecknadelkopfgroßer Oocysten hat man an einem einzigen Mückenmagen nachgewiesen. Jede derselben bildet in ihrem Innern bis zu 1000 Sporozoiten oder Sichelkeime. Ist die Reifung der Oocyste vollendet, so platzt sie, durch den Druck ihres Inhaltes gesprengt, und die Sichelkeime gelangen in die Leibeshöhle der Mücke, um von da auf geheimnisvolle Weise, wie Eisenstaub vom Magneten angezogen in die dreilappige Speicheldrüse der Mücke zu dringen, wo sie vorläufig in die Zellen des Drüsenparenchyms eingebettet ruhen, bis sie mit dem Speichel des einen gesunden Menschen zum Blutsaugen stechenden Insekts durch den hohlnadelartigen Hypopharynx in die Blutbahn des Gestochenen gelangen. Hier dringen die schmalen, durch Hin- und Herschlängeln sich fortbewegenden Sichelkeime in rote Blutkörperchen ein, quellen darin bald auf, werden zunächst bohnenförmig und sind spätestens nach drei Stunden vollkommen den ungeschlechtlich entstandenen, als Schizonten bezeichneten Plasmodien gleich, um ihre ungeschlechtliche Teilung zu beginnen. Sind der ungeschlechtlich entstandenen Nachkommen genügend gebildet, was 10—13 Tage nach dem verhängnisvollen Stiche der Fall ist, so entsteht beim Ausschwärmen derselben in neue rote Blutkörperchen jeweilen ein Fieberanfall und schwillt die Milz als eines ihrer Hauptquartiere an. Beim Temperaturoptimun von 28° bis 30° C. ist schon 8 Tage, bei kühlerer Temperatur entsprechend langsamer, nämlich 10—12 Tage, nachdem ein Anophelesweibchen Blut eines Malariakranken getrunken hat, sein Stich malariaübertragend, und zwar genügt, wie eingehende Versuche dartaten, ein einziger Stich dazu.



Fig. 367. Magen der Anophelesmücke, dessen Oberfläche zahlreiche Oocysten des Malariaplasmodiums enthält, m Malpighische Gefäße, e Enddarm.

Wir haben es also auch hier, wie so oft bei niederen Tieren, mit

Digitized by Google

einem Generationswechsel in Verbindung mit einem Wirtswechsel zu tun. Der malariakranke Mensch infiziert die betreffende als Zwischenwirt dienende Mücke und diese wiederum den gesunden Menschen. Weil nun die Stechmücken in ihrer Entwicklung auf die Sümpfe und Tümpel angewiesen sind, ist die Malaria ein Sumpffieber. Außer Feuchtigkeit brauchen diese Zwischenträger auch eine gewisse Wärme, deshalb hängt in den außerhalb der Tropen gelegenen Fiebergegenden das stärkere Auftreten der Malaria während des Hochsommers und Herbstes mit der Entwicklung der Anopheles zusammen. In den Tropen sind der Beginn und namentlich das Ende der Regenperiode wegen der dann besonders reichlich auftretenden Moskitos die Hauptzeit der Malaria. Weil die Moskitos vornehmlich in der Abend- und Morgendämmerung auf die Nahrungssuche gehen, erklärt es sich von selbst, weshalb in Malariagegenden das Schlafen im Freien und bei offenem Fenster so besonders gefährlich ist. Die Anopheles fliegen nicht hoch, beschränken sich auf die Niederungen und kommen auch in den Tropen in Höhen über 1000 m nicht mehr vor; deshalb sind solche malariafreie Orte durch den Schutz vor Neuansteckung die besten Erholungsorte für Malariakranke, in denen die Plasmodien durch die Verabreichung von 1 g salzsaurem Chinin jeweilen 8, spätestens aber 5 Stunden vor dem zu erwartenden Anfall, wenn nämlich die Malariaparasiten als junge Schwärmer in ihrem widerstandsunfähigsten Zustande sind, nach und nach abgetötet werden können. Deshalb sollten nicht nur alle Malariakranken durch systematische Chininbehandlung von ihren lebensgefährlichen Schmarotzern befreit werden, damit sie nicht stetsfort neue Mücken infizieren und dadurch zu schlimmen Quellen der Seuche werden, sondern auch die Gesunden, die in einer Malariagegend ihren Aufenthalt nehmen, sollten zur Abwehr dieser Krankheit prophylaktisch jeden fünften Tag eine Dosis Chinin, am besten vor dem Schlafengehen, nehmen, damit allfällig mit den Mückenstichen ins Blut gedrungene Malariakeime abgetötet werden, bevor sie sich soweit vermehrt haben, daß sie einen Fieberanfall auszulösen vermögen. Daneben soll man durch Ausrottung der Mücken, indem man Wasseransammlungen möglichst verhindert, oder, wo dies nicht möglich ist, die Brut durch Aufgießen von Petroleum oder andern ähnlich wirkenden Substanzen zum Ersticken bringt, und durch Anbringen von Gittern vor allen Öffnungen der Wohnungen sich vor diesen unheilvollen Blutsaugern zu schützen bestrebt sein.

Wie die durch Trypanosomen verursachte Schlafkrankheit des Menschen nur durch die bremsenartige Glossina palpalis, die Malaria des

Digitized by Google

Menschen nur durch die Anophelesmücke, die Filariakrankheit des Menschen wie die Malaria der Vögel nur durch gewisse Culexarten, zu denen auch unsere gemeinen Schnaken gehören, so wird auch das so überaus gefürchtete gelbe Fieber ausschließlich durch die Stegomyia fasciata von Mensch zu Mensch übertragen. Alle diese Stechmücken, die Blutsauger und so zu schlimmen Krankheitsüberträgern werden, sind also stets Weibchen, in deren Innern sich teilweise ähnliche komplizierte Entwicklungsprozesse der betreffenden Schmarotzer wie bei der Malaria abspielen. Der Gelbfiebererreger ist so überaus winzig, daß er selbst bei den stärksten Vergrößerungen mit Anwendung von Farbstoffen und allen übrigen technischen Hilfsmitteln nicht sichtbar gemacht werden kann; geht er doch sogar durch die feinsten Porzellanfilter hindurch. Bei 60° C. wird er abgetötet; abgesehen von allen andern Beweisen dokumentiert er schon

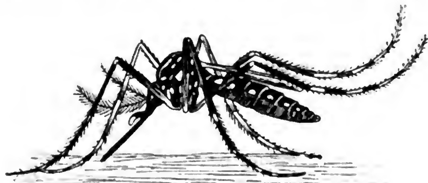


Fig. 368. Die Gelbfiebermücke Stegomyia fasciata in sitzender Stellung beim Blutsaugen.

dadurch seine belebte Natur wie dies bei allen andern Krankheiten der Fall ist, deren Erreger so klein sind, daß wir sie niemals zu Gesicht bekommen, trotzdem wir mit Sicherheit wissen, daß sie da sind.

In der tropischen Heimat benötigt das Stegomyiaweibchen einen Zeitraum von wenigstens 12 Tagen im heißen Sommer, von 18 Tagen jedoch im kühleren Winter, bis der infektiöse Keim sich so weit entwickelt hat, daß er mit dem Speichel auf gesunde Menschen übertragen werden kann; 3 bis 5 Tage nach dem infizierenden Stich kommt dann das gelbe Fieber zum Ausbruch. Die einmal infektionsfähig gewordene Mücke behält diese Eigenschaft zeitlebens, jedenfalls viele Monate hindurch, und ihre Lebensdauer ist nicht kürzer als diejenige der nichtinfizierten Genossinnen, so daß also der für den Menschen so lebensgefährliche Krankheitserreger ihr keinen nachweisbaren Nachteil zu bringen scheint, so wenig als den andern Mückenweibchen, die Träger von solchen krankmachenden Protozoen sind. Da die Stegomyia wie alle andern eine mehr nächtliche Lebensweise führenden Mücken nicht weit fliegt, ist z. B. schon die Mannschaft eines 300 m vom infizierten Festland

Digitized by Google

vor Anker liegenden Schiffes vor Infektion durch sie gefeit. Endlich wird auch die Aleppobeule des Orients, gleichbedeutend mit der Biskrabeule Nordafrikas, wie auch die endemische Warzenkrankheit von Peru, beide ebenfalls durch winzige Sporozoen erzeugt, durch ganz bestimmte Schnaken übertragen.

Viel häufiger als solche niedrigste tierische finden wir niedrigste pflanzliche Wesen in Tieren, besonders Warmblütern, schmarotzend und sie dadurch krank machend. Durch solche Bakterien werden bekanntlich fast alle akuten Infektionskrankheiten des Menschen wie auch der höheren Tiere verursacht. Diese Zwerge unter allen Lebewesen, von denen die größten Formen einen Durchmesser von nur $^1/_{500}$ mm besitzen, viele aber unter die Sichtbarkeitsgrenze unserer besten Mikroskope fallen, weshalb wir gerade für die ansteckendsten Infektionskrankheiten wie Pocken, Scharlach, Masern, Röteln, Mumps und andere die betreffenden Erreger noch nicht haben zu Gesicht bekommen können, finden just im Blute, dessen Strömung sie auf bequeme Weise durch den ganzen Körper verschleppt, einen ganz idealen Nährboden, wie sie sich ihn nicht besser wünschen könnten. Von den in ihm enthaltenen reichen Nährstoffen zehrend, wachsen sie durch fortdauernde Sprossung und Querteilung in so außerordentlich rascher Weise, daß alle Organismen, vor allem die Warmblüter, ihnen schon längst zum Opfer gefallen wären, wenn sie eben nicht so vortreffliche Schutzeinrichtungen zu ihrer Abwehr besäßen. Bei ihrer außerordentlichen Kleinheit können diese Bakterien an zahlreichen Stellen von außen her in die Strombahn des Blutes eindringen und hier ihre verheerende Tätigkeit entfalten, indem sie schon innerhalb 20 Minuten so weit auswachsen, daß sie sich entzweiteilen können. Nach diesem Vorgange, der den Eindruck macht, als ob eine fortwährende Spaltung der Zellen stattfinde, haben sie überhaupt den Namen Spaltpilze (Schizomyceten) erhalten. Dabei kann unter günstigen äußern Bedingungen aus einer einzigen Zelle binnen 8 Stunden über 16 Millionen und in 24 Stunden viele Milliarden solcher Zellen entstehen, die natürlich das Material zu ihrem Aufbau dem betreffenden Wirte entnehmen, der schon dadurch, ganz abgesehen von den giftigen Stoffwechselprodukten, welche fast alle unter ihnen erzeugen, in weitgehendem Maße geschädigt werden muß.

Ähnlich wie sie, wenn auch weniger bösartig, treten die zahllosen schmarotzenden Fadenpilze, selten zwar bei Tieren, sehr häufig aber bei Pflanzen als Krankheitserreger auf. Indem ihre Fäden durch das Ausscheiden gewisser Enzyme mit der Fähigkeit begabt sind, die die

Digitized by Google

Pflanzenzellen nach außen abschließenden Zellstoffhäute zu durchbohren, gelangen sie leicht zu deren für sie überaus kostbarem Inhalte von Eiweißstoffen. Nun sind auch die Pflanzen im allgemeinen gegen die Invasion solcher Pilze geschützt. Nur manche durch lange Kultur und besonders durch widernatürliche, viele Jahrzehnte hindurchgeführte ungeschlechtliche Fortpflanzung durch Stecklinge geschwächten Schützlinge des Menschen, wie die einheimischen Reben, die Kartoffeln (die fast sämtlich von einer vom Botaniker Clusius in seinem Garten gezüchteten Knolle abstammen), die Pyramidenpappel (alle bei uns in Europa wachsenden Exemplare derselben sind männlich und Nachkommen eines vor 125 Jahren aus dem Orient in einem Garten zu Wörlitz eingeführten Exemplars), die La France-Rose (die allerdings erst im Jahre 1868 in den Handel gelangte), und manche andere, deren Lebensenergie sichtbar

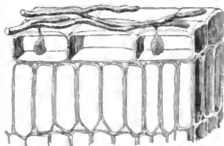


Fig. 369. Fäden des Mehltaupilzes auf einem Blattstück von Acanthus mollis schmarotzend, in dessen Oberhautzellen sie Saugkolben hineingetrieben haben. Die Zellen der Pflanze sind leer gelassen. Zu den bekanntesten Mehltaupilzen zählt der Traubenschimmel, Erysiphe Tuckeri, welcher sich über die Oberhaut der noch unreifen grünen Beeren des Weinstocks spinnt und deren vorzeitige Vertrocknung bewirkt.

abgenommen hat, da ihnen eine Auffrischung durch Kreuzung nicht zu teil wurde. Bei diesen haben dann spezifische Pilzkrankheiten, wie die verschiedenen Abarten des Mehltaus, einen empfänglichen Boden und treten deshalb leicht verheerend auf.

Wo immer durch Luftströmungen weithin transportierte Sporen dieser und ähnlicher Fadenpilze an solchen geschwächten und zu Erkrankung disponierten Pflanzen stranden, keimen sie unter dem Einflusse der aus der Atmosphäre zugeführten Feuchtigkeit. Es treten aus ihnen dünnwandige Schläuche hervor und suchen in die lebende Unterlage hineinzuwachsen. Meist suchen sie dabei diejenigen Punkte auf, wo sich ihnen ein möglichst geringer Widerstand darbietet, tasten so lange an der Oberfläche des Blattes herum, bis sie eine Spaltöffnung gefunden haben, benützen diese als Eingangstüre und gelangen so in die Atmungsgänge. Andere wieder suchen Stellen auf, wo die Oberhaut durch irgendwelche Einflüsse, sei es Hagelschlag, Windbruch, Schneedruck oder Tierfraß beschädigt worden ist und Wunden entstanden sind, welche als Einfallstore benützt werden können. Wieder andere, und zwar fast die Mehrzahl, schlagen einen andern Weg ein. Sie stoßen

Digitized by Google

sozusagen, statt abzuwarten bis Öffnungen entstehen, die Wand selbst ein, indem ihre Mycelfäden zahlreiche Aussackungen bilden, welche durch Fermentwirkung sich Löcher durch die Zellwände bohren, um so in das Innere der Zellen zu gelangen und sich ihren lebendigen Inhalt anzueignen. Allerdings sind sozusagen alle Wirtpflanzen durch starke Verdickung der Außenwand ihrer Oberhautzellen wie von einem Panzer umgeben, den nicht jeder Pilzfaden durchzubrechen vermag. Noch mehr sichert eine doppelte oder dreifache Lage von dickwandigen, saftlosen Zellen, eine feste Rinde mit Kork oder eine tote, trockene, dicke Borke die darunterliegenden Zellen vor der Anbohrung durch solche Schmarotzerpilze. Um sich dennoch Eingang zu verschaffen, zwängen sich manche derselben mit ihrer kegelförmigen Spitze in die Risse und Sprünge der Rinde ein, drängen die Schilder ab und gelangen so schließlich an Stellen, wo sie ihre Minierarbeit mit Erfolg ausführen können. Dabei werden nicht nur die protoplasmatischen Teile der Zellen resorbiert, sondern auch der Holzkörper nach und nach aufgelöst. So wuchern die Pilzfäden im Innern des Organismus, den sie mehr oder weniger schädigen, doch nur ausnahmsweise ganz zugrunde richten, und strecken, wie die Pilze des Waldbodens, ihre Fruktifikationsorgane über die Oberfläche der Wirtspflanze hervor, damit der Wind oder gelegentlich auch naschhafte Insekten die Sporen überallhin verbreiten können.

Gewisse Pflanzengruppen sind vor andern den Angriffen solcher schmarotzender Pilze ausgesetzt, und es gibt Nadelhölzer und Laubbäume, auf denen sich ein halbes Dutzend oder mehr Schmarotzer an demselben Stamme ansiedeln. Auch die grünen Laubblätter und besonders die mit Nährstoffen erfüllten Wurzeln, Knollen und Zwiebeln sehr zahlreicher Blütenpflanzen sind sehr gerne von ihnen heimgesucht. Oft sind sie aber sehr wählerisch; so befallen manche derselben nur die Antheren gewisser Blumen, andere, wie z. B. das Mutterkorn, nur die jungen Fruchtknoten des Roggens. Auf Moosen und Farnen werden nur verhältnismäßig selten schmarotzende Pilze angetroffen, dagegen findet man auf Flechten und auf den Fruchtkörpern der Schwämme ziemlich viele derselben angesiedelt; ja selbst auf Schimmelpilzen nisten sich wieder andere Pilze als Schmarotzer ein. So schmarotzt z. B. auf dem weitverbreiteten Schimmelpilze Mucor mucedo ein anderer Pilz, Piptocephalis Freseniana. In den Raupen und Puppen von Schmetterlingen und andern Insekten schmarotzt ein unter dem Namen Cordiceps militaris bekannter Pilz, dessen verhältnismäßig sehr großer Fruchtkörper schließlich aus dem von dessen Mycel durchwucherten Tiere als

Digitized by Google

eine nahezu 6 cm lange Keule nach oben hervorbricht. Dieser keulenförmige Fruchtträger, zu dessen Bildung Fleisch und Blut des betreffenden befallenen Tieres verbraucht wurden, entwickelt in eigentümlichen Behältern schlauchförmige Zellen, in denen sich stäbchenförmige Sporen in ungeheurer Zahl ausbilden, die dann, überallhin zerstreut, gelegentlich wieder auf Raupen gelangen, um sie zu infizieren, zu einem schimmelartigen Mycel im Körper dieser Tiere auszuwachsen und sie zuletzt aufzuzehren. Die unter dem Namen Muscardine bekannte Krankheit der Seidenraupen wird gleichfalls durch eine solche Cordicepsart veranlaßt, wie der weitverbreitete Schimmelpilz Empusa muscae alljährlich im Herbste eine förmliche Epidemie unter den Stubenfliegen verursacht. Man trifft dann die Fliegen starr und tot an den Fensterscheiben haften und findet bei näherem Zusehen, daß sie von einem weißlichen, sie allseitig umgebenden Hofe versehen sind, welcher von den die Sporen weithin abschleudernden Sporenbehältern und Sporen selbst gebildet wird. Wie bei zahlreichen höheren Tieren findet man auch die Haut des Menschen gelegentlich von schmarotzenden Pilzen heimgesucht, die dann bestimmte Hautkrankheiten erzeugen. So verursacht der Schimmelpilz Achorion Schoenleini die mit umschriebenem Haarausfall verbundene, von den Ärzten als Favus, vom Volke jedoch als Erbgrind bezeichnete Hautkrankheit vorzugsweise des behaarten Kopfes, der Trichophyton tonsurans dagegen die als Herpes tonsurans bezeichnete Bart- und Kopfflechte mit Entzündung und Abschuppung der Haut und Zerstörung der Haare und Nägel, ferner der Microsporon furfur die oft von Laien als „Leberflecken" bezeichneten außerordentlich häufigen, leicht abschilfernden und höchstens etwas Jucken verursachenden Herde von Pityriasis versicolor.

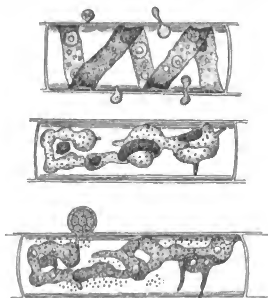


Fig. 370. Lagenidium Rabenhorsti in Zellen der Alge mit schraubenförmigem Chlorophyllband Spirogyra schmarotzend und diese ganz aufzehrend, wonach er wieder in das umgebende Wasser hinauswächst und dort zu einer kugeligen Blase anschwillt, aus der acht Sporen als Schwärmer austreten, um neue Spirogyrazellen anzufallen.

Verhältnismäßig selten werden Wasserpflanzen von schmarotzenden

Pilzen befallen, wenn auch Epiphyten oder Überpflanzen häufig genug auf ihnen zu finden sind. Auf den grünen Algenfäden, zumal den im Süßwasser lebenden Arten der Gattungen Oedogonium, Spirogyra und Mesocarpus, schmarotzen, dem unbewaffneten Auge nicht erkennbar, winzige Pilzformen, welche zu den Chytrideen und Saprolegnaceen gezählt werden. Einer dieser mikroskopischen Schmarotzer, Lagenidium Rabenhorsti, entwickelt wimperlose, aber im Wasser dahinkriechende kugelige Schwärmsporen, welche sich an die Wand der mit einem bandförmigen, schraubig gewundenen Chlorophyllkörper versehenen Spirogyrazellen anlegen, dieselbe durchbohren und zunächst einen Kolben in das Innere der Zelle treiben. Aus dem Kolben wird alsbald ein Schlauch, der sich im Innern der Spirogyrazelle rasch vergrößert und verzweigt und dabei den bandförmigen Chlorophyllkörper vollständig zerstört. Die verzweigten Schläuche des Schmarotzers vermehren sich dann auf Kosten der durchwucherten Zellen des Wirtes auf doppelte Art. Sie bilden nämlich einerseits durch Befruchtung sogenannte Eisporen, welche durch Auflösung der Zellhäute erst frei werden, andererseits treiben sie aus der Zellkammer der überfallenen Spirogyrazelle Ausstülpungen nach außen, die zu kugeligen Blasen anschwellen, in denen sich das Protoplasma in acht Sporen teilt. Diese Sporen werden dann als Schwärmer entlassen und können sich neuerdings an gesunde Spirogyrazellen anheften, um sie auszusaugen und ihren Entwicklungszyklus auf deren Kosten zu Ende zu führen.

Wenn auch viele Pilze unterschiedslos Pflanzen oder Tiere der verschiedensten Verwandtschaftskreise befallen, so beschränken sich manche auf einen größeren oder kleineren Kreis nahe verwandter Arten, die sie sich zu Wirten auswählen. So schmarotzt der Mutterkornpilz Claviceps purpurea nur auf bestimmten Gräsern, der Keulenpilz Cordyceps cinerea nur auf Carabus-, d. h. Laufkäferarten. Noch andere sind strenge auf eine einzige Wirtsspezies angewiesen, wie Peronospora radii auf einer Art Bertramwurz Pyrethrum inodorum und Laboulbenia Bäri auf der Stubenfliege. Aber während unter den zahlreichen verschiedenen Rostpilzen für gewöhnlich Puccinia sessilis auf das Maiglöckchen, Puccinia digraphidis auf den Salomonssiegel und das Zweiblatt und Puccinia paridis auf die Einbeere beschränkt ist, können sie in manchen Gegenden auch durcheinander auf diesen verschiedenartigen Liliengewächsen gedeihen. Ähnliches gilt von noch vielen andern Pilzen, die wir natürlich nicht einzeln anführen können.

Gleicherweise verhält es sich mit den höheren Pflanzen, auf denen

Digitized by Google

aber nicht nur mikroskopisch kleine Pflänzchen, sondern vielfach auch hochdifferenzierte Blütenpflanzen schmarotzen. Zu diesen gehört beispielsweise die zu den Winden gehörende Cuscuta, die in über 50 Arten über die ganze Welt verbreitet ist, und zwar in jedem Weltteile in besonderen Formen. Diese chlorophylllosen Stengelschmarotzer mit fädigen Stengeln, deren kleine, farbige Blüten immer noch wie die ihrer selbständig lebenden Verwandten an Insektenbestäubung angepaßt sind, bildet als Cuscuta trifolii die berüchtigte Kleeseide, deren Auftreten in den Kleefeldern von den Landwirten sehr ungern gesehen wird, weil ihre Vertreibung sehr schwierig ist; als Cuscuta epilinum umwickelt sie die Leinstengel, deren Wachstum sie behindert, als Cuscuta europaea tritt sie oft verheerend in Hopfenpflanzungen auf, schmarotzt aber auch auf Holunder, Eichengebüsch und verschiedenen andern Sträuchern und Stauden, besonders aber bevorzugt sie die Nesseln, auf denen sie den „Teufelszwirn" bildet.

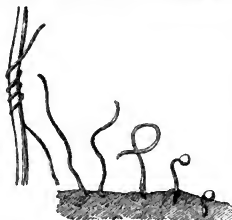


Fig. 371. Keimling des Teufelszwirns, Cuscuta europaea, in verschiedenen Stadien der Entwicklung.

Die reich mit Reservenahrung ausgestatteten Samen dieser Arten keimen alle auf feuchter Erde im folgenden Jahre, und zwar wenigstens um einen Monat später als die Samen der mit ihnen zugleich auf den Boden gelangten andern Pflanzen, was für den Schmarotzer höchst zweckmäßig ist, damit er seine Wirtspflanze bereits entwickelt vorfinde. Bei der Keimung streckt sich der spiralig eingerollte Keimling und treibt sein kolbenförmig angeschwollenes unteres Ende in den Boden, um darin eine Stütze zu finden. Das andere verschmälerte Ende des fadenförmigen Keimlings, welches noch von der Samenhaut und der Reservenahrung umgeben ist, hebt sich in entgegengesetzter Richtung empor, wobei es den ihm etwa entgegenstehenden festen Körpern ausweicht und im Bogen um sie herumwächst. Das weitere Wachstum findet im Mittelstücke des Fadens statt und geht so rasch vor sich, daß der Keimling schon am fünften Tage nach dem Beginne der Keimung sich um das Vierfache verlängert hat. Schon am dritten Tage wird die Samenhaut abgeworfen, nachdem der Keimling alle Reservenahrung in sich aufgenommen und in seinem kolbenförmigen untern Ende aufgestapelt hat. Dieses beginnt in dem Maße zu

Digitized by Google

schrumpfen, als sich der obere Teil des Fadens streckt, bis er mit einer lebenden Pflanze in Berührung kommt, die er alsbald umschlingt. Trifft aber der etwa 2 cm lang gewordene Keimling keine solche Stütze und kommt er auf die nackte Erde zu liegen, so stellt er sein weiteres Wachstum ein und verharrt, bevor er zugrunde geht, fünf und mehr Wochen regungslos auf Errettung harrend, die ihm oft genug auch noch zu teil wird, indem in seiner nächsten Nähe eine andere Pflanze aufkeimt oder ein wachsender Sproß sich aus der Nachbarschaft vorstreckt und die Keimpflanze der Cuscuta streift. Alsbald schlingt er sich zwei- bis dreimal um diesen „Rettungsanker", hebt dann seine fortwachsende Spitze von der Unterlage ab und bewegt diese tastend und suchend im Kreise herum, bis er mit einem neuen Blattstiel oder Halm einer andern Pflanze in Berührung kommt. Als-

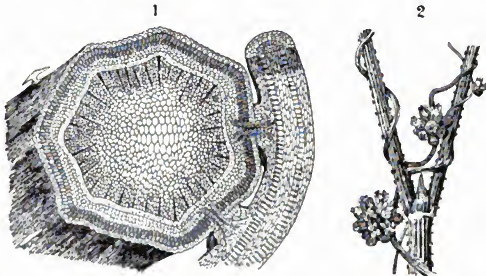


Fig. 372. 2 Stück eines auf Hopfen schmarotzenden Teufelzwirns mit Blüte. 1 Durchschnitt durch beide, um zu zeigen, wie der dünnere Teufelszwirn mit seinen Saugwarzen am dickeren Hopfen schmarotzt. (40fach vergrößert.)

bald legt er sich wieder an diese an und bildet zwei bis drei enge Schlingen um diese neue Stütze. Dabei ist auffällig, daß diese fortwachsende Spitze der jungen Cuscutapflanze soweit als tunlich tote Stützen verschmäht und in sichtlicher Weise, wie ein denkendes und fühlendes Wesen, die sie ja im Grunde auch ist, lebende Pflanzenteile bevorzugt.

Wo sich die Cuscuta mit einer Schlinge der Stütze anschmiegt, schwillt der Faden an mehreren Stellen an und bildet jeweilen Saugwarzen, die wie die Füße einer am stützenden Stengel hinaufkriechenden kleinen Raupe sich festsaugen, und zwar mit Hilfe eines von den

Digitized by Google

Papillen derselben ausgeschiedenen Stoffes. Waren die Warzen gezwungen, einen toten Körper als Stütze zu erfassen, so verflachen sie sich auf ihm und gestalten sich zu einer Art Scheibe, die keine weitere Entwicklung zeigt und nur als Haftorgan dient. Wird aber die Unterlage, wie in der Regel, von einer lebenden Pflanze gebildet, so drängt sich aus der Mitte der Warze ein Bündel von Zellen heraus, welches mit unüberwindlicher Gewalt in die Unterlage direkt hineinwächst, und zwar oft bis zum Holzkörper. Dort in den Nährsaft führenden Zellschichten im Innern der Wirtspflanze treten die bisher bündelförmig vereinigten Zellen etwas auseinander, schieben sich einzeln zwischen die Zellen des Wirtes ein und wirken von da an sehr energisch als Saugzellen, die der Cuscutapflanze die zum Weiterwachstume nötige Nahrung zuführen, da ja inzwischen schon längst die Reservenahrung des Keimlings aufgebraucht ist. Ist einmal eine solche Verbindung des Schmarotzers mit der Wirtspflanze hergestellt, so stirbt dasjenige Stück desselben, das unterhalb der ersten Saugwarzen oder Haustorien liegt, allmählich ab, und die Cuscuta wurzelt, ohne irgendwie mehr mit dem Boden, auf dem sie gekeimt hat, in Berührung zu sein, mit ihren Saugwarzen nur noch in der lebenden Wirtpflanze. Hat sie es gut getroffen, was ja oft der Fall sein muß, da ja der Samen nicht weit von der Stelle zu Boden fällt, wo die ihn erzeugende, an einer passenden Wirtpflanze aufgewachsene Mutterpflanze gedieh, so wächst sie ungemein rasch weiter, sendet unmittelbar über der untersten Gruppe von Saugwarzen schon reichlich Verzweigungen aus, die auch wieder alle mit ihren Spitzen herumtasten, um alle ihnen begegnenden Stützen Schlingen und Saugwarzen bilden, sich mitunter auch gegenseitig umwinden und verstricken, ohne hier jedoch Haustorien zu bilden, da sie zu wissen scheint, daß sie selbst es ist, die sich hier am eigenen Leibe berührt.

Indem sie nun mit ihrem Netzwerke von chlorophyllfreien weißen Fäden in immer weiterem Umkreise die Wirtpflanzen überziehen und den mit Recht vom Volke so genannten „Teufelszwirn“ bilden, erzeugen sie schließlich kleine kugelige Knäuel winziger rosenroter Blüten, aus denen nach ihrer Befruchtung durch Insekten mit einem Deckel aufspringende Kapselfrüchte hervorgehen, aus denen der Wind die Samen ausstreut. Während unsere europäischen Cuscuta-Arten sämtlich einjährig sind und nach der Samenreife verdorren, kommen in den Tropen auch ausdauernde Arten, wie z. B. Cuscuta verrucosa vor, deren Saugwurzeln dort, wo sie den Wirt einmal erfaßt haben, jahrelang

Digitized by Google

funktionieren. Wenn nun die mit den Saugwarzen behafteten verholzten Zweige des Wirtes in die Dicke wachsen und sich auf dem Holzkörper, bis zu welchem die Saugzellen der Warzen eingedrungen sind, neue Schichten von Holzzellen bilden, so werden die Saugzellen der Cuscuta von diesen gleichsam umwallt, verlängern sich auch in dem Maße, als der Holzkörper des betreffenden Zweiges der Wirtpflanze an Umfang zunimmt, und man sieht dann das Bündel der von den Warzen herkommenden Saugzellen in dem Holze mehrerer Jahresringe eingelagert.

Ganz ähnlich wie die Arten der Gattung Cuscuta verhält sich die in zahlreichen Arten in den Tropen gedeihende Gattung Cassytha, die zu den Lorbeergewächsen gehört und mit ihren fadenförmigen, windenden, blattlosen Stengeln Gebüsche der Casuarinen und Melaleuken umstrickt. Auch bei diesen ist der aus dem Samen hervortretende Keimling fadenförmig und lebt anfänglich auf Kosten der innnerhalb der Samenhaut aufgespeicherten Reservenahrung, wächst in die Höhe und sucht durch drehende Bewegungen seines oberen Endes eine lebende Stütze zu erreichen, um welche er sich dann herumschlingt, um sie anzuzapfen. Hier wie dort bilden sich an jenen Stellen, wo die Schlingen des fadenförmigen, sich bald verzweigenden Stengels fest an der lebendigen Stütze anliegen, reihenförmig geordnete Warzen, aus deren Mitte ein Bündel von Saugzellen in die Wirtpflanze hineinwächst. Die ganze übrige Entwicklung ist bei den aus ganz verschiedenen Pflanzenfamilien hervorgegangenen und dennoch durch die gleiche Lebensweise einander so ähnlichen Pflanzen dieselbe, so daß wir nicht näher darauf einzutreten brauchen.

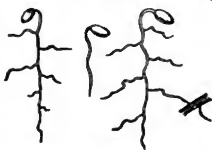


Fig. 373. Entwicklung des Keimlings der Sommerwurz, Orobanche epiphytum, die ihre Seitenwurzeln so lange austreibt, bis sie auf Wurzeln einer Pflanze stoßen, auf der sie schmarotzen kann.

Außer diesen und andern gänzlich chlorophyllfreien und deshalb auf ein Räuberleben angewiesenen Schmarotzerpflanzen gibt es chlorophyllhaltige und deshalb einer selbständigen Lebensweise fähige schmarotzende Blütenpflanzen. Diese können wir im Gegensatz zu jenen chlorophyllfreien als Halbschmarotzer bezeichnen. Ihre mit Samenlappen und Wurzeln versehenen Keimlinge wachsen zunächst ohne Unterstützung eines Wirtes heran und erst die Wurzeläste legen sich unterirdisch mittels Saugwarzen an die Wurzeln einer Wirtpflanze an, um

Digitized by Google

an ihr zu schmarotzen. Hieher gehören über hundert Santalgewächse, und zwar vorzugsweise aus der Gattung Thesium, dem Bergflachse, und dann gegen dreihundert der zu den Scrophularieen gehörenden Rhinanthaceen, deren nächster Verwandter die chlorophyllfreie und deshalb auf Schmarotzertum an Baumwurzeln und daneben auf Insektenfang in höchst genial errichteten unterirdischen Reusen, zu denen sie die Blätter umgewandelt hat, angewiesene Schuppenwurz, Lathraea squamaria, ist. Wurzelschmarotzer aus dieser letzteren Familie sind insbesondere die Arten der Gattung Euphrasia Augentrost, Rhinanthus Klappertopf, Melampyrum Wachtelweizen, Pedicularis Läusekraut, Bartsia, Tozzia, Trixago, Odontites u. a.

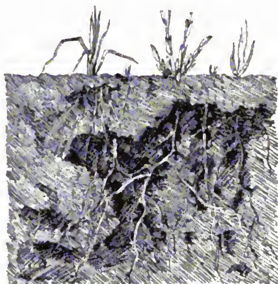


Fig. 374. Ein Exemplar des Alpenbergflachs, Thesium alpinum, — in der Mitte — auf Gräsern schmarotzend.

Alle diese Pflanzen sind in ihrer ersten Entwicklung wie der Wachtelweizen selbständige Wesen, die innerhalb einer Woche eine 4 cm lange Hauptwurzel mit einem halben Dutzend rechtwinklig abzweigender Nebenwurzeln treiben, ohne daß zunächst eine Anheftung an eine Wirtpflanze zu bemerken wäre. Die Saugwurzeln bilden sich immer erst dann aus, wenn die Wurzeläste schon eine Länge von 12 bis 24 mm erreicht haben, und auch nur dann, wenn sie mit andern lebenden und ihnen zusagenden Pflanzen in Berührung kommen, was freilich fast unvermeidlich ist, da diese Wurzeläste sehr zahlreich sind, nach allen Richtungen von der Hauptwurzel ausstrahlen und so sicher das Wurzelwerk anderer Pflanzen streifen müssen. Meist ist der Rand der Saugwarzen stark gewulstet und die zahlreichen Saugzellen dringen nicht sehr tief in das Rindengewebe des Wirtes ein. Fast alle diese einjährigen, grün belaubten Schmarotzer wohnen da, wo sie ihr Standquartier aufgeschlagen haben, in großer Individuenzahl nebeneinander und trotzdem scheinen die befallenen Kräuter, besonders die Gräser der Wiesen, nicht viel schlechter zu gedeihen als da, wo diese Schmarotzer fehlen. Es beschränken sich also diese Halbschmarotzer auf ein relativ geringes Maß von Nahrungsstoffen, die sie den von ihnen befallenen Pflanzen entziehen.

Digitized by Google

Ähnlich harmlos sind auch die epiphytisch, d. h. als Überpflanzen auf Bäumen lebenden zahlreichen tropischen Arten der Gattung Henslowia aus der Familie der Santalgewächse und die gegen vierhundert Arten aus der Familie der Loranthaceen, zu welch letzteren die bekannten Misteln und Riemenblumen gehören. Diese erzeugen Büsche von gabelig verzweigten Ästen mit zuweilen rudimentären Blättern, aber dafür assimielender grüner Rinde, an denen im Herbste, wie bei der Mistel, sehr stark vom grünen Laube sich abhebende weiße Beeren hervorgehen, die in der an Nahrung armen Winterszeit mit Vorliebe von Drosseln, besonders der Misteldrossel aufgesucht und verzehrt werden. In dieselben sind die Samen in eine äußerst zähe und klebrige, stark viscinhaltige Masse gebettet, die zur Bereitung des Vogelleimes dient. Durch sie ist auch der Kot der sie fressenden Drosseln zähflüssig wie Vogelleim; da, wo er von den Vögeln auf Baumästen deponiert wird, fließt er, wie bereits besprochen, mit den unverdaulichen Samen an den Ästen dem Gesetze der Schwere folgend an die schützende Unterseite und trocknet da ein. Im Frühjahr keimen die von den Vögeln an die Äste angeleimten Samen und treiben dabei als Senker bezeichnete Saugfortsätze in die darunter liegende Rindenschicht, mit denen sie sich sowohl am Baume verankern als auch das Wasser mit den darin gelösten Nährsalzen und manchen Nährstoffen der betreffenden Wirtpflanze entziehen. Während die hauptsächlich in Südeuropa vorkommende Riemenblume, Loranthus europaeus, auf Eichen- und Kastanienbäumen schmarotzt — in Böhmen und Niederösterreich kommt sie nur auf der Eiche vor —, befällt die Mistel, Viscum album, sowohl Nadel- wie Laubbäume, allerdings gewöhnlich in ungleichen Varietäten. Die typische Form mit weißen Beeren bevorzugt die Laubbäume, besonders die Schwarzpappeln, von wo aus sie durch die Vögel auf Äpfel-, Birn-, Zwetschgen-, Wallnußbäume und Weinstöcke, wie auf Ahorn, Eichen, Ulmen, Robinien, Weiden, Linden, Weißdorne, Vogelbeerbäume usw. verschleppt wird. Nur Birken, Buchen und Platanen werden stets von ihr gemieden, was jedenfalls

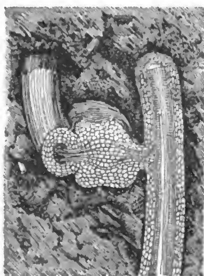


Fig. 375. Durchschnitt durch ein Wurzelstück des Alpenbergflachs (rechts) mit Saugwarze an der Graswurzel (links). (60fach vergrößert.)

Digitized by Google

mit dem eigentümlichen Bau der Rinde dieser Bäume im Zusammenhange steht. Sie kommt aber auch auf Nadelhölzern, besonders Kiefern oder Föhren, vor, ja in der Gegend von Verona traf man sie sogar auf den schmarotzenden Gebüschen der Riemenblume an. Regelmäßig auf Nadelhölzern wird dagegen eine als Viscum laxum bezeichnete Form mit gelben, kleineren Früchten gefunden. Da bilden die Misteln Büsche bis zu 4 m Umfang bei einer Stammesdicke von 5 cm, deren dichtes Gezweig die Vögel mit Vorliebe zur Errichtung ihrer Nester benützen. Im Weißtannenholze hat man die am besten mit einem Rechen vergleichbaren Senker der Mistel bis 10 cm lang gefunden; da sie in dem betreffenden Falle von vierzig Jahresringen des Tannenholzes umwallt waren, kann man daraus schließen, daß dieser Halbschmarotzer vierzig Jahre alt werden kann, was wohl eine Ausnahme bildet; denn meist stirbt die Mistel vorher ab. Die Senker und längs der Rinde verlaufenden Wurzeln erhalten sich noch eine Zeitlang, vermodern und fallen den Pilzen zum Fraß, während das Holz, in das sie sich einsenkten, unverändert bleibt. Solche Holzstücke sind dann vielfach durchlöchert und sehen aus, als ob mit Schrot auf sie geschossen worden sei. Auf den rotbeerigen Wacholderbüschen, Juniperus oxycedrus, des mittelländischen Florengebietes findet sich eine kleine Mistelart, die Wacholdermistel, Viscum oxycedri, deren weiche, krautartige Zweiglein nur 3—5 cm lang werden und mit zu Schuppen reduzierten Laubblättern bedeckt sind. Ihre Früchte, welche sich als fast saftlose, längliche, blaue Beeren darstellen, werden geradeso wie die Beeren

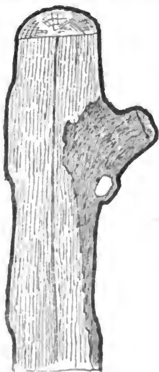


Fig. 376. Durchschnitt durch einen Baumast mit einer darauf schmarotzenden Riemenblume, um den Verlauf der Rindenwurzeln darzutun.

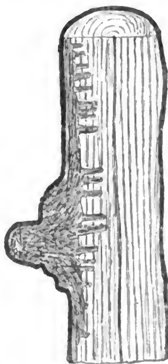


Fig. 377. Durchschnitt durch einen von der Mistel befallenen Baumast, der die von der Rindenwurzel des Schmarotzers abgehenden Senker zeigt.

Digitized by Google

der gewöhnlichen Mistel durch Vögel verbreitet und wachsen auf ähnliche Weise an. Eine ganze Reihe damit verwandter Arten finden wir über die ganze Welt, besonders in den Tropen, verbreitet, wie dort auch unter der tropischen Sonne manche Loranthusarten in die grellsten purpurnen und orangegelben Farben gekleidete Blüten von 10, 15 und 20 cm Durchmesser hervorbringen. Manche dieser Riemenblumenarten, die meist noch viel umfangreicher als die Misteln werden und deren Stämme 8—10 cm Dicke bei einem Umfang des Buschwerks von 6 und 7 m erreichen, sind kleinen Bäumen vergleichbar, die andern Bäumen aufgepfropft sind. Als Wirtpflanzen dieser Riemenblumen erscheinen vorwiegend Laubhölzer, doch hat man auch schon Loranthus auf Loranthus, z. B. L. buxifolius auf L. tetandrus, schmarotzend angetroffen, wie man in Indien auch eine Viscumart auf der andern, so V. moniliforme auf V. orientale schmarotzend fand.



Fig. 378. Ein Stück von den Senkern der Mistel durchlöchertes Tannenholz.

Diese Loranthaceen führen zu den mit den Aristolochiaceen verwandten Rafflesiaceen und Balanophoren über, alles chlorophyllfreie, meist blattlose Wurzelschmarotzer, die oft ganz pilzartig mit verkürzter Achse entwickelt sind. Es sind dies ausschließlich tropische Formen, die in der Rinde von holzigen Wurzeln und Stämmen schmarotzen, an denen sie knollige Auftreibungen bewirken. Aus diesen brechen nun die Blütenstände hervor, die vielfach zu den merkwürdigsten Erscheinungen der Pflanzenwelt gehören. Während die meisten derselben mäßige Größen aufweisen, ist sie bei der bis jetzt bloß im Urwalde Sumatras gefundenen Rafflesia Arnoldi so gewaltig, daß sie dort 1 m Durchmesser erreichen. Wenn die Knospen dieser tatsächlich größten Blume der Welt aus den Wurzeln der über den Boden dahinziehenden als Wirtpflanze dienenden Liane hervorbrechen, haben sie nur den Umfang einer Wallnuß und lassen kaum die einstige Größe ahnen; aber bald nehmen sie an Umfang zu und ähneln vor dem Öffnen geradezu verblüffend einem Weißkohlkopfe. Die großen Deckblätter, welche die eigentümliche Blume zu dieser Zeit noch einhüllen, schlagen sich endlich zurück, und die zuletzt noch stark vergrößerte Blume öffnet sich dann mit fünf gewaltigen, schmutzigblutroten, fleischigen, mit

Digitized by Google

Warzen bedeckten Lappen. Die unangenehm nach Aas duftende Blüte möchte eben durch ihre Ähnlichkeit mit faulendem Fleisch die Aasfliegen herbeilocken, damit sie sich zur Eiablage bei ihr einfinden und bei dieser Gelegenheit die Pollenübertragung von einer Blüte zur andern besorgen. Im mittelländischen Florengebiet ist diese merkwürdige Pflanzengruppe durch den flammendrot blühenden Hypocist, Cytinus Hypocistus, vertreten, der auf Wurzeln von Cistrosensträuchern schmarotzt. Damit wollen wir unsere Betrachtungen über die unerschöpfliche Fülle von interessanten Erscheinungen in der Lebewelt unserer Erde beschließen.

Nachtrag. Während der Drucklegung dieses Buches ist eine theoretisch sehr wichtige Tatsache festgestellt worden, die wir nicht stillschweigend übergehen können. Bei den auch von uns als kernlos erwähnten Chroococcusalgen, Bakterien und ausgewachsenen roten Blutkörperchen der Wirbeltiere, bei denen es bisher auf keinerlei Weise gelang, einen Kern nachzuweisen, hat in jüngster Zeit V. Ruzicka durch eine neue mikrochemische Untersuchungsmethode, wie im Biologischen Centralblatt 1907 Nr. 16 und 17 mitgeteilt wird, den Nachweis führen können, daß diese Zellen nur scheinbar kernlos sind, indem ihr Plasmaleib dicht mit Kernsubstanz durchzogen ist, ja fast nur aus Kernsubstanz besteht, so daß sie dieser Autor sogar als nackte Kerne ohne Plasmaleib auffaßt. Wie die Kerne durch ihren Gehalt an Nucleïnen, organischen Phosphorverbindungen, die meist in Verbindung mit verschiedenen Eiweißarten als Nucleoalbumine auftreten, der Verdauung durch den Magensaft bedeutenden Widerstand leisten, so tun es auch diese bisher als kernlos betrachteten Zellen. Demnach müssen sie reichlich Kernsubstanz enthalten, aber ihr Zellenleib ist nicht in Plasma und Kern differenziert. Also läßt sich der Satz aufstellen: Ohne Kernsubstanz keine lebensfähige Zelle!

Digitized by Google

Namen- und Sachregister.

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google



Digitized by Google

Verlag von Ernst Reinhardt, München, Jägerstr. 17.

Vom Nebelfleck zum Menschen.

Band I:

Die Geschichte der Erde.

Eine gemeinverständliche Geologie

von

Dr. Ludwig Reinhardt.

Mit 194 Abbildungen im Text, 17 Volltafeln und 3 geologischen Profiltafeln, nebst farbigem Titelbild von A. Marcks.

600 S., gr. 8°, in elegantem Leinwandband. Preis **Mk. 8.50.**

Inhaltsverzeichnis:

I. Wie das Weltbild entstand. II. Die Sternenwelt. III. Unser Sonnensystem IV. Die Erde und der Mond. V. Die Kometen und Meteore. VI. Die Erstarrungsgesteine der Erde. VII. Der Vulkanismus. VIII. Die Schichtgesteine. IX. Die Gebirgsbildung. X Wasser und Land. XI. Der Kreislauf des Wassers. XII. Die Verwitterung der Erdoberfläche. XIII. Die Abtragung des Festlandes.

Band III:

Die Geschichte des Lebens auf der Erde

erscheint als Schluß des Werkes 1908.

Urteile der Presse:

Gaea 1907, Heft 7. „Die Darstellung ist anregend und der Verfasser hat offenbar die besten und neuesten Quellen zu Rate gezogen. Auch die Illustrierung des Buches ist durchweg gut und da zudem der Preis des Werkes ein billiger ist, wird es einen großen Leserkreis erringen.“

Globus 1907 Nr. 21. „Die Sprache ist flüssig, das Vorgetragene leicht verständlich gehalten, immer gut an Beispielen erläutert und durch viele und tatsächlich zum größten Teil sehr gut ausgeführte und ihrem Zweck entsprechende Abbildungen illustriert.“

Digitized by Google

Aus der Natur 1907, Heft 6. Das angezeigte Werk ist der erste Band eines großzügig angelegten Unternehmens, das die Einzelheiten der Naturentwicklung vom rohen Urstoff, wie er uns in den Nebelflecken entgegentritt, bis zum belebten Wesen höchster Ordnung vorführen soll. Wenn der noch ausstehende zweite Band das hält, was sein Vorgänger verspricht, so wird man das Gesamtwerk als eine vorzügliche Leistung bezeichnen müssen. Überall wird man finden, daß der Verfasser seine Arbeit auf die sichere Basis umfassender Studien gegründet hat; mit sicherem Blick hat er allenthalben das herauszuheben verstanden, was für den gebildeten Laien allein wissenswert erscheinen konnte. Dabei ist seine Darstellungsweise klar und frei von gekünstelter Geistreichelei, ohne für den Leser ermüdend zu wirken. Ein besonderes Lob verdient die prächtige Ausstattung. Die beigegebenen Tafelbilder sowohl wie auch die zahlreichen Textbilder sind durchweg vorzüglich. Möchte das treffliche Buch einen großen Leserkreis finden.

Frankfurter Zeitung v. 3. II. 1907. Als ich das neue Buch von E. Reinhardt erhielt, dessen Werk über den Menschen zur Eiszeit in Europa ich erst kürzlich in der „Frankfurter Zeitung" besprach, fühlte ich eine wirkliche Freude, denn daß der Verfasser hier wieder nichts schlechtes geliefert haben würde, war mir klar.

Das Buch ist das beste allgemeinverständlichste Werk, welches unsere Erde und ihre Geschichte behandelt. Seit Neumayrs Zeiten ist keine so sympatische Behandlung des spröden Stoffes mehr erschienen. Besonders Volksbibliotheken werden einen großen Leserkreis mit den beiden Reinhardt'schen Büchern anlocken können und wenn erst das dritte Buch des Verfassers erschienen sein wird, auf welches ich mich schon jetzt freue, dann werden wir eine populäre Entwicklungsgeschichte der Erde und des Lebens besitzen, die für jeden nachdenkenden Menschen eine Quelle des Genusses und der Freude sein wird. Dr. F. Drevermann.

Blätter für Aquarienkunde v. 3. 1907. „Inhaltlich und in der Ausstattung gleich gediegen, kann es nur empfohlen werden. . . . . Die Illustrationen sind sämtlich gut und instruktiv, manche sogar hervorragend schön. Der Preis des Buches ist bei dem Umfange und der Gediegenheit der Ausstattung als sehr mäßig zu bezeichnen."

Lehrmittelsammler 1907 Nr. 5. An dem ausgezeichneten Buche gefällt uns vor allem die klare, leichtverständliche Darstellung selbst schwieriger Probleme. Dem Verfasser ist es gelungen, populär — im besten Sinne des Wortes — zu schreiben. Die klare, anziehende Darstellungsweise ist eine Folge der sicheren Beherrschung des gewaltigen Stoffes, der dem Verfasser jahrzehntelang Veranlassung zu sorgfältigen und eingehenden Studien gegeben hat. So ist es auch möglich geworden, daß in dem Werke aus der teilweise schwer zugänglichen Literatur nicht nur das Neueste, sondern auch das durch gewissenhafte Forschung Gesicherte geboten wird. In glänzender Weise ist das Werk ausgestattet. Eine reiche Zahl klarer Abbildungen, die zum Teil prächtige Vollbilder sind, unterstützen die interessanten Ausführungen des Verfassers in hervorragender Weise. Besondere Sorgfalt ist auf die Auswahl typischer Abbildungen genommen worden. Der Preis ist in Anbetracht des Gebotenen billig. Allen unseren Lesern möchten wir das Buch als zuverlässigen Führer in die Geschichte der Erde, als eine wirklich gute populäre Geologie, auf das nachdrücklichste und wärmste empfehlen.

Digitized by Google

Verlag von Ernst Reinhardt, München, Jägerstr. 17.

Unstreitig das beste, was über diesen Gegenstand vorhanden ist.
„Geologisches Zentralblatt."

Der Mensch zur Eiszeit in Europa

und seine Kulturentwicklung bis zum Ende der Steinzeit

von

Dr. Ludwig Reinhardt.

2. stark verbesserte und vermehrte Auflage (3.—7. Tausend).

Mit 535 Abbildungen, 20 Volltafeln und farbigem Umschlag von A. Thomann. VIII u. 950 S. gr. 8°. In elegantem Leinwandband Preis Mk. 12.—.

Inhaltsverzeichnis:

I. Der Mensch zur Tertiärzeit. II. Die Eiszeit und ihre geologischen Wirkungen. III. Der Mensch während der ersten Zwischeneiszeiten. IV. Der Mensch der letzten Zwischeneiszeit. V. Der Mensch der frühen Nacheiszeit. VI. Die Übergangsperiode von der älteren zur jüngeren Steinzeit. VII. Die jüngere Steinzeit und ihre materiellen Kulturerwerbungen. VIII. Die Germanen als Träger der megalithischen Kultur. IX. Die Entwicklung der geistigen Kultur am Ende der Steinzeit. X. Steinzeitmenschen der Gegenwart. XI. Niederschläge aus alter Zeit in Sitten und Anschauungen der geschichtlichen Europäer

Urteile der Presse:

Korrespondenzblatt der Gesellschaft für Anthropologie. Die in ihrer Bedeutung von der großen Menge der Gebildeten noch vollkommen übersehenen Ergebnisse der ältesten prähistorischen Forschung zu einem einheitlichen und übersichtlichen Ganzen zusammenzufassen, ist der Zweck des schönen Werkes, das eine umfassende Kenntnis der weitschichtigen Literatur mit lebhafter Frische der Darstellung zu verbinden weiß.

Naturwissenschaftliche Wochenschrift vom 3. Januar 1907. Wer eine Belehrung über den Menschen der „vorgeschichtlichen" Zeit sucht, wird das vorliegende schöne Buch mit großer Teilnahme lesen und studieren. Reinhardt behandelt den reizvollen Gegenstand, den er eingehend studiert hat, in zuverlässiger Weise, ohne der Phantasie ungebührlichen Spielraum zu verstatten. Es ist für den kritisch Veranlagten — d. h. denjenigen, der das, was wir wirklich wissen, zur Kenntnis nehmen will, aber nicht irgendwelche Phantastereien zu hören wünscht, — eine große Freude, wenn ihm das Tatsachenmaterial in vernünftiger Verknüpfung so geboten wird, wie es in diesem Buch geschieht, dessen Angaben somit als Grundlagen weiterer Forschungen wirklich benutzbar sind.

Digitized by Google

Petermanns Mitteilungen, 1906, Heft 8. . . . . Es ist zweifellos, daß er ein Buch geschaffen hat, das dieser Aufgabe vollkommen gerecht wird. Mit großem Fleiße ist die Literatur, sind die Funde bis in die neueste Zeit hinein zum Unterbau der Darstellung verwendet, die selbst durch zahlreiche Illustrationen unterstützt, ein lebendiges und — für popularisierende Arbeiten das schwerste — auch ein wissenschaftliches Bild von der Menschwerdung in ihren ältesten tertiären Spuren bis zum Ende der reinen Steinzeit gibt, das nie den realen Boden der Forschung verläßt.

Aus fremden Zungen, 1906, Nr. 11. Das Buch richtet sich an ein Laienpublikum, und so sei es einem Laien gestattet, seine lebhafte Freude über eine Fülle von Belehrung und Anregung auszusprechen. Überall in diesem Werk hat man den Eindruck, schlicht wahrhafte Tatsachen zu lesen, statt flitterumhängte Phantastereien, wie sie gerade in solchen populärwissenschaftlichen Büchern so häufig sind, aufgetischt zu bekommen. Und überall folgt man dem trefflichen Erzähler mit gleichem Interesse.

Die Geißel, 1907. Über Hellwald und Hoernes führt der Weg zu Reinhardt: Hellwald war populär im schlechten Sinne des Worts, Hoernes war zu wissenschaftlich. Reinhardt steht zwischen beiden in der Mitte. Sein Buch greift jene Epoche heraus, in der der Mensch sich über das Tier erhob. – Es war eine dankenswerte Aufgabe, die sich der Verfasser gesetzt hat, und sein Talent, alle streng wissenschaftlichen Ergebnisse in leichter, fast unterhaltender Weise darzustellen, verbunden mit der geschickten Einteilung des Stoffes und der prächtigen Schreibweise, werden für das Buch mehr sprechen, als alles, was darüber geschrieben werden kann.

„Prometheus“, Nr. 853: Das vorliegende Buch bietet, trotzdem es einen Stoff behandelt, der seinem wesentlichen Umfange nach schon wiederholt in allgemein verständlicher Weise erörtert worden ist, eine große Reihe neuer Gesichtspunkte. Es ist so fesselnd und anschaulich geschrieben, daß es lebhaft allen denjenigen empfohlen werden kann, welche über die Vergangenheit und die Geschichte des Menschengeschlechts eine eingehende und doch in keiner Beziehung phantastische Schilderung im Zusammenhang lesen wollen. Die umfassenden Quellenstudien des Verfassers ermöglichen es ihm, den reichen Stoff, ohne mit Einzelheiten zu ermüden, so fesselnd und dabei einfach darzustellen, daß die Lektüre jedem denkenden Menschen einen großen Genuß bereitet.

„Kosmos“, 1906, Heft 2: Eine im guten Sinne populäre Schrift, die überall den neuesten Standpunkt der Wissenschaft berücksichtigt und vertritt, wohl geeignet, Laien und Studierende in die Urgeschichte des Menschen einzuführen.

„Neue freie Presse“, 29. März 1906: . . . Trotzdem war es ein glücklicher Gedanke und entsprach einer gewissen Verpflichtung der Wissenschaft gegenüber der weiten Oeffentlichkeit, das bisher Erworbene in leichtfaßlicher und übersichtlicher Form zur Kenntnis zu bringen Man kann sich kaum denken, daß dieses ungeheure Tatsachenmaterial von einem einzigen Autor in vollendeterer Form hätte volkstümlich dargestellt werden können, als dies durch Reinhardts Buch geschehen ist. Wir können dasselbe als Muster populärer, dabei unterhaltender und doch zugleich streng wissenschaftlicher Darstellung mit bestem Gewissen bezeichnen.

Münchn. Neueste Nachr. vom 29. April 1906. Verfasser hat aus der ungeheuren Fachliteratur das Wichtige ausgewählt und dieses Material nach möglichst kritischer Sichtung in formvollendeter Weise verarbeitet. Durch seine klare, deutliche Darstellungsweise, die einen stellenweise fast poetisch anmutet, versteht Reinhardt das Interesse des Lesers wachzurufen und zu fesseln. Das Erscheinen dieses Werkes, dessen Preis im Gegensatz zu ähnlichen Veröffentlichungen ein billiger zu nennen ist, kann man nur freudig begrüßen, da der Verfasser in der nicht genug anzuerkennenden Absicht auch dem Laien einen Überblick über die Geschichte der Menschheit zu geben und damit zur Aufklärung beizutragen, sein Bestes geleistet hat.

Digitized by Google

Verlag von Ernst Reinhardt, München, Jägerstr. 17.

Darwinismus und Lamarckismus

Entwurf einer psychophysischen Teleologie

von Dr. August Pauly

a. o. Professor der angewandten Zoologie an der Universität München.

352 S. Mit 13 Illustrationen. Preis brosch. Mk. 7.—, geb. Mk. 8.50.

Das Buch bietet nicht nur eine kritische Übersicht über den gegenwärtigen Stand der vielumstrittenen Darwin'schen Frage, sondern enthält eine Fülle neuer Gedanken, die auf verschiedenen Gebieten der Naturwissenschaft befruchtend gewirkt haben. Was einer unserer führenden Zoologen bei Erscheinen des Buches sagte: „es wird einen Wendepunkt in der Biologie bedeuten" ist eingetroffen: die mächtige Entwicklung der neovitalistischen Bewegung war eine Folge davon.

„Basler Zeitung" vom 19. Januar 1906. Dieses herrliche Buch stellt ein Lebenswerk dar. Ein solches Buch tut man nicht mit einer einfachen kurzen Besprechung ab, die ihm in keiner Weise gerecht werden kann — wir kommen daher darauf zurück .... Auch den bedingungslosen Anhänger Darwins wird dieses großartige Werk logischen Denkens und Urteilens mächtig anregen. In uns, die wir das Buch studieren und weiterstudieren werden, klingen die herrlichen prächtigen Gedanken noch lange nach. Ihrem Zauber wird sich niemand gänzlich entziehen können.

„Aus der Natur" 1906 Heft 12. Das oben genannte, ausgezeichnet klar geschriebene Werk, das in der Geschichte der Zoologie zweifelsohne eine Rolle spielen wird, gibt jedem, der sich für diese wichtigen Streitfragen der Biologie interessiert, vorzüglichen Aufschluß. Es sei hiermit auf das angelegentlichste zum Studium empfohlen.

Dr. Zacharias (Plön) in den **„Leipz. N. N."** vom 4. Jan. 1906. Unter allen mir bisher vor die Augen gekommenen Kritiken der Darwinschen Lehre ist die vorliegende unbedingt die scharfsinnigste und sachlichste. Überdies atmet diese umfangreiche und mit größter Sachkenntnis abgefaßte Schrift auch wirklich philosophischen Geist und ist mit erquickender Klarheit geschrieben.

Digitized by Google

Verlag von Ernst Reinhardt, München, Jägerstr. 17.

„Nicht ein Buch, sondern das Buch über die sexuelle Frage."
Prof. G. Klein, München.

Die sexuelle Frage.

Eine naturwissenschaftliche, psychologische, hygienische und soziologische Studie für Gebildete von

Professor August Forel,

Dr. med., phil. et jur., ehem. Professor der Psychiatrie und Direktor der Irrenanstalt in Zürich.

26.—35. Tausend. 6. und 7. verbesserte und vermehrte Auflage.
XII und 632 Seiten Groß-8°. Mit 23 Abbildungen auf 6 Tafeln.
Preis brosch. Mk. 8.—, in Leinwand geb. Mk. 9.50.

Vorwort.

Das vorliegende Buch ist die Frucht langjähriger Erfahrungen und Überlegungen. Eine Wurzel desselben stammt aus der Naturforschung, und eine zweite aus einer langen Beschäftigung mit der Psychologie kranker und gesunder Menschen. Die Sehnsucht des menschlichen Gemütes und die Erfahrungen der Soziologie der verschiedenen Menschenrassen und geschichtlichen Zeitperioden mit den Ergebnissen der Naturforschung und der durch dieselben ans Licht geförderten Gesetze der psychischen und sexuellen Evolution in harmonischen Einklang zu bringen — das ist ein Problem, das sich unserem Zeitalter aufdrängt. Sein Schärflein zur bestmöglichen Lösung jenes Problems beizutragen, ist eine Pflicht, die wir unseren Nachkommen gegenüber zu erfüllen haben. Wir müssen für sie ein glücklicheres Dasein vorbereiten, als das unsrige, und wäre es nur aus Dankbarkeit für die ungeheuren Kulturfortschritte, die wir dem Schweiß, dem Blut und vielfach dem Martyrum unserer Vorgänger verdanken.

Ich bin mir der Größe meiner Aufgabe und der Mängel meines Buches völlig bewußt. Es war mir namentlich nicht möglich, die vorhandene Literatur genügend zu berücksichtigen. Ich habe mich vor allem bemüht, die sexuelle Frage von allen Seiten in einer Art zu beleuchten und zu behandeln, wie es meines Wissens noch nicht geschehen ist. Andere werden dann die Mängel und Lücken später verbessern.
Dr. A. Forel.

Inhalt.

Einleitung. Kap. I. Die Fortpflanzung der Lebewesen. Kap. II. Die Evolution oder Descendenz (Stammgeschichte) der Lebewesen. Kap. III. Naturhistorische Bedingungen und Mechanismus der menschlichen Begattung, Schwangerschaft. Correlative Geschlechtsmerkmale. Kap. IV. Der Geschlechtstrieb. Kap. V. Die sexuelle Liebe und die übrigen Ausstrahlungen des Geschlechtstriebes im Seelenleben des Menschen. Kap. VI. Ethnologie, Urgeschichte und Geschichte des menschlichen Sexuallebens und der Ehe (nach Westermarck.) Kap VII. Die sexuelle Evolution. Kap. VIII. Sexuelle Pathologie. Kap. IX. Rolle der Suggestion im Sexualleben. Kap. X. Die sexuelle Frage in ihrem Verhältnis zum Geld oder zum Besitz. Geldehe, Prostitution, Kuppelei, Kokotten- und Maitressenwesen. Kap. XI. Einfluß der äußeren Lebensbedingungen auf das Sexualleben. Kap XII. Religion u. Sexualleben. Kap XIII. Recht und Sexualleben (a. Allgemeines b. Zivilrecht c. Strafrecht). Kap. XIV. Medizin und Sexualleben. Kap. XV. Sexuelle Ethik oder sexuelle Moral. Kap. XVI. Die sexuelle Frage in der Politik und Nationalökonomie Kap. XVII. Die sexuelle Frage in der Pädagogie. Kap. XVIII. Sexualleben und Kunst. Kap. XIX Rückblick und Zukunftsperspektiven. Anhang: Einzelne Stimmen über die sexuelle Frage.

Digitized by Google

Verlag von Ernst Reinhardt, München, Jägerstr. 17.

Das Buch von Prof. Forel über die **sexuelle Frage** hat einen tiefgehenden Einfluß ausgeübt und niemand, der sich mit diesem Gegenstand beschäftigt — und wer täte das nicht? — wird einer Auseinandersetzung mit ihm aus dem Wege gehen können. Die Verlagshandlung hat ein ausführliches **Prospektbüchlein** darüber herausgegeben, mit vielen Preßurteilen, einem Aufsatz von Ludwig Thoma, usw., das auf Verlangen **kostenfrei** zur Verfügung steht.

Soeben erschien:

Gesundheitspflege des Geistes

von Professor Dr. Clouston.

Mit Vorwort und Anmerkungen von Professor **August Forel.**

ca. 300 S. 8⁰. Mit 10 Illustr. In eleg. Leinenband Preis Mk. 2.80.

„Ein Buch voll interessanter Anregungen und ein wertvolles Buch, denn es macht uns Nachdenken." Standard.

Mehr und mehr suchen die Ärzte auf Gebieten die Führung zu übernehmen, die früher ausschließliche Domäne der Moralisten und Theologen waren. Viele Bücher sind über dieses und ähnliche Themata erschienen, aber keines ist klarer als das von Clouston. Die Verbesserung unserer Rasse muß ein wirklicher politischer Faktor werden, das ist der Grundgedanke des Verfassers und damit trifft er mit Ruskin zusammen, der vor Jahren in Fors Clavigera ausgeführt hat, daß der Zweck des Staates nicht sei Reichtümer aufzuhäufen, sondern die seelische Kultur zu fördern. „British Medical Journal."

Man kann von diesem klaren und hervorragend wissenschaftlichen Werke nicht hoch genug denken. Jeder, der das Maximum von Glück und Erfolg, kurz das große Los im Leben gewinnen will, sollte diesen „Führer für geistige Verbesserung" gründlich studieren. „British Journal of Inebriety."

Der Wert der deutschen Ausgabe wird ganz wesentlich erhöht durch die zahlreichen Anmerkungen von Prof. Forel, die das Werk des mehr auf das Praktische gerichteten englischen Psychiaters in theoretischer Hinsicht, in der die deutsche Wissenschaft die unbestrittene Führung hat, wertvoll ergänzen. Jeder Gebildete, vor allem Eltern und Lehrer, werden dieses Buch mit Nutzen lesen.

Digitized by Google

Digitized by Google


89096268982

B89096268982A

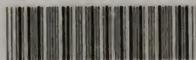
Digitized by Google





G. E. STECHERT & CO.

Digitized by Google



89096268982
b89096268982a